



# UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI

## UNIDAD ACADÉMICA DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA Y APLICADAS

### CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA EN SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA

#### TESIS DE GRADO

#### TEMA:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO  
TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON  
ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE  
UNA VIVIENDA RURAL CON POTENCIA MÁXIMA DE 500W”**

#### Línea de Investigación:

Tesis presentada previa a la obtención del título de Ingeniero Eléctrico en  
Sistemas Eléctricos de Potencia.

#### **Autores:**

Aguayo Mopocita Jorge Alejandro

Bejarano Rivera Edward Serafin

#### **Director:**

Ing. Xavier Proaño

**LATACUNGA – ECUADOR**

**2014**

## **AUTORÍA**

Nosotros, Aguayo Mopocita Jorge Alejandro y Bejarano Rivera Edward Serafin con cédula de identidad N° 180372009-1 y con cédula de identidad N° 180438243-8 alumnos egresados de Ingeniería Eléctrica, declaramos que la presente tesis de grado, es fruto de nuestro esfuerzo, responsabilidad, trabajo y disciplina, logrando que los objetivos propuestos se culminen con éxito.

**Atentamente:**

---

**Jorge Aguayo**

**C.I. 180372009-1**

---

**Edward Bejarano**

**C.I. 180438243-8**

## **AVAL DEL DIRECTOR DE TESIS**

Cumpliendo con lo estipulado en el Artículo 26, Literal h) del Reglamento de graduación en el Nivel de Pregrado de la Universidad Técnica de Cotopaxi, CERTIFICO, que los señores Edward Serafin Bejarano Rivera y Jorge Alejandro Aguayo Mopocita, egresados de la Carrera de Ingeniería Eléctrica en Sistemas Eléctricos de Potencia, desarrollaron el trabajo de investigación de grado, de acuerdo a los planteamientos formulados en el Proyecto de Tesis, asesoría y dirección correspondiente.

En virtud de lo antes expuesto considero que están habilitados para presentarse al acto de defensa de tesis, cuyo tema es: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL CON POTENCIA MÁXIMA DE 500W”**

Latacunga, Mayo de 2014

**Director de Tesis**  
Ing. Eléc. Xavier Proaño

# **AVAL DE ASESOR METODOLÓGICO**

Latacunga, 30 de Mayo de 2014

En calidad de asesor metodológico del presente trabajo de grado realizado por los señores Aguayo Mopocita Jorge Alejandro y Bejarano Rivera Edward Serafin con cédula de identidad N° 180372009-1 y con cédula de identidad N° 180438243-8, alumnos egresados de Ingeniería Eléctrica con el tema de tesis: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL CON POTENCIA MÁXIMA DE 500W”**, han cumplido con lo establecido llevando en orden la estructura tentativa de la tesis de grado y las normas correspondiente para su correcto desarrollo.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Atentamente:

---

Msc. Carlos G. Albán Y.  
**ASESOR METODOLÓGICO**

## **AVAL DE IMPLEMENTACIÓN**

Latacunga, 30 de Mayo de 2014

En calidad de coordinador de la carrera de Ingeniería Eléctrica de la Unidad Académica de Ciencia de la Ingeniería y Aplicadas, los señores Aguayo Mopocita Jorge Alejandro y Bejarano Rivera Edward Serafin con cédula de identidad N° 180372009-1 y con cédula de identidad N° 180438243-8, realizaron la Tesis de Grado con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL CON POTENCIA MÁXIMA DE 500W”**, bajo la supervisión del Ing. Xavier Proaño, director de tesis y docente de la carrera de ingeniería eléctrica, en la elaboración de este proyecto para beneficio de la Universidad Técnica de Cotopaxi.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad, facultando a los interesados, hacer uso de este documento en forma de que estimen conveniente.

Atentamente:

---

Ing. Eléc. Xavier Proaño

**COORDINADOR DE LA CARRERA DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

## AVAL DE TRADUCCIÓN

En calidad de Docente de la Carrera de Ciencias de la Educación, mención Inglés de la Universidad Técnica de Cotopaxi, yo M.Sc. Gina Venegas Álvarez con la C.I.0501598643 **CERTIFICO** que he realizado la respectiva revisión de la Traducción del Abstract; con el tema: **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL CON POTENCIA MÁXIMA DE 500W”** cuyos autores son: Aguayo Mopocita Jorge Alejandro y Bejarano Rivera Edward Serafin, cuyo director de tesis es el Ing. Xavier Proaño.

Latacunga, 02 de Junio de 2014

Docente:

-----

M.Sc. Gina Venegas Álvarez

C.I.0501598643

## **DEDICATORIA**

*Esta tesis está dedicada a mis queridos padres Mario Eduardo Bejarano Fuentes y Laura Matilde Rivera Mayorga, por su apoyo incondicional en toda mi educación, tanto académica, como en la vida, pues han sido mi motivación inculcándome valores que me han permitido ser mejor persona y en el futuro un buen profesional.*

*A mis hermanos Andrea, Joseph y Cristina quienes siempre han estado a mi lado, para que tomen mi dedición y esfuerzo como un ejemplo de superación.*

*Gracias a todas estas personas importantes que forman parte de mi vida hoy puedo ver alcanzar mi meta.*

**Edward Serafin Bejarano Rivera**

## ***DEDICATORIA***

*A mi Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y fortalecerme en los momentos de crisis.*

*A mis padres Magdalena Mopocita y Walter Aguayo, por haberme apoyado siempre, por sus consejos, sus valores, por la motivación que me ha permitido ser una persona de bien, por su ayuda económica, pero más que nada, por su paciencia y amor.*

*A mis hermanos por apoyarme en cada momento de mi vida, por ser el motor que origina mi deseo inconmensurable de alcanzar las metas.*

*A mi esposa por su comprensión, por su dedicación, por su fuerza, por su amor y por ser tal y como es.*

*A mis compañeros y amigos porque de todos he aprendido mucho, es imposible olvidar los momentos agradables que hemos compartido.*

***Jorge Alejandro Aguayo Mopocita***



## **AGRADECIMIENTO**

*El presente trabajo de tesis, primeramente agradecemos a Dios por su infinita bondad que ha permitido llegar a este punto.*

*A la Universidad Técnica de Cotopaxi, por acogernos en sus aulas y darnos la oportunidad de estudiar y ser un profesionales.*

*Al Ing. Klever Mayorga (+), anterior tutor de tesis y muchas gracias por su colaboración para el desarrollo de este proyecto, también agradecemos al Ing. Xavier Proaño actual tutor de tesis por su colaboración y orientación en la realización del presente trabajo investigativo.*

*A nuestros padres, hermanos y familia en general por apoyarnos en todo momento y confiar en nosotros.*

*A todos nuestros maestros y a las personas que de una u otra manera contribuyeron la formación personal y espiritual, porque nos enseñaron que las mayores satisfacciones se alcanzan cuando las cosas se hacen con esfuerzo, dedicación y honestidad.*

*Agradecemos a puertas enrollables “ETERNA”, que nos aporó con la facilidad de la elaboración de nuestro proyecto.*

## INDICE GENERAL

| CONTENIDO                            | PÁGINA |
|--------------------------------------|--------|
| PORTADA.....                         | I      |
| AUTORÍA.....                         | II     |
| AVAL DIRECTOR DE TESIS.....          | III    |
| AVAL ASESOR DE TESIS.....            | IV     |
| AVAL DE IMPLEMENTACIÓN.....          | V      |
| AVAL DE LA TRADUCCIÓN DE IDIOMA..... | VI     |
| DEDICATORIA 1.....                   | VII    |
| DEDICATORIA 2.....                   | VIII   |
| AGRADECIMIENTO.....                  | IX     |
| ÍNDICE GENERAL.....                  | X      |
| ÍNDICE GRÁFICOS.....                 | XIV    |
| ÍNDICE TABLAS.....                   | XVIII  |
| RESUMEN.....                         | XX     |
| ABSTRACT.....                        | XXI    |
| INTRODUCCIÓN.....                    | XXII   |

## INDICE GENERAL.

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO I.....   | 1  |
| 1. Fundamentación Teórica.....  | 1  |
| 1.1. Energía.....   | 1  |
| 1.2. Fuentes de Energía a través de los Años.....                     | 2  |
| 1.3. Formas de Energías Empleadas.....                                | 2  |
| 1.3.1. Los combustibles.....  | 2  |
| 1.3.2. La energía eléctrica.....                                      | 3  |
| 1.3.3. La producción de energía eléctrica.....                        | 3  |
| 1.4. Clasificación de la Energía Eléctrica.....                       | 5  |
| 1.4.1. Energías renovables.....                                       | 5  |
| 1.4.2. Energías no renovables.....                                    | 6  |
| 1.4.3. Impacto ambiental:.....  | 7  |
| 1.5. Análisis de la Energía Solar y Eólica.....                       | 7  |
| 1.5.1. Energía Solar.....   | 7  |
| 1.5.1.1. Conversión directa de la energía solar en electricidad:..... | 8  |
| 1.5.1.2. Panel solar fotovoltaico.....                                | 10 |
| 1.5.1.3. Dimensionamiento e Instalación Energía Solar en Casa.....    | 20 |
| 1.5.1.3.1. Generación propia de electricidad.....                     | 20 |
| 1.5.2. Energía Eólica.....  | 30 |
| 1.6. Medición de la Velocidad del Viento.....                         | 37 |
| 1.7. Velocidad del Viento.....  | 38 |
| 1.8. Energía Obtenible del Viento.....                                | 40 |
| 1.9. Energía Híbrida.....   | 43 |
| 1.10. Dimensionamiento del alternador eléctrico.....                  | 45 |
| 1.11. Curvas de demanda de una viviendas según su categorización..... | 46 |

|                   |   |    |
|-------------------|---|----|
| 1.11.1.           | Demandas de diseño. ....  | 47 |
| 1.12.             | Calidad de Energía. ....  | 51 |
| 1.13.             | Tarifa de la Dignidad. ....   | 53 |
| CAPITULO II ..... |   | 54 |
| 2.                | Análisis e Interpretación de Resultados. ....   | 54 |
| 2.1.              | Entorno del Lugar de Investigación. ....  | 54 |
| 2.1.1.            | Antecedentes Históricos. ....   | 54 |
| 2.2.              | Análisis e Interpretación de Resultados. ....   | 54 |
| 2.2.1.            | Demanda de una vivienda rural. ....   | 55 |
| 2.2.1.1.          | Curva de Demanda de una vivienda rural. ....  | 55 |
| 2.2.2.            | Dimensionamiento del Panel solar, Regulador, Inversor y Batería.<br>60  |    |
| 2.2.3.            | Pruebas de la Radiación Solar. ....   | 64 |
| 2.2.3.1.          | Estudio solar de la zona. ....  | 64 |
| 2.2.3.2.          | Datos de Heliofanía de la estación Querochaca. ....   | 66 |
| 2.2.4.            | Datos técnicos y características del panel solar. ....  | 69 |
| 2.2.5.            | Pruebas de Velocidad del Viento. ....   | 73 |
| 2.2.6.            | Cálculo de la energía obtenida del viento. ....   | 75 |
| 2.2.7.            | Diseño de la turbina. ....  | 76 |
| 2.2.8.            | Acoplamiento de energía solar y energía eólica. ....  | 77 |
| 2.2.9.            | Análisis de generación eléctrica mediante energías alternativas<br>entregada por el prototipo. ....   | 82 |
| 2.2.10.           | Relación entre la curva de demanda de una vivienda rural y la<br>curva según el tipo de vivienda establecida en las guías de diseño de la<br>Empresa Eléctrica Ambato. .... | 84 |
| 2.3.              | VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS. ....  | 89 |

|   |     |
|---|-----|
| CAPITULO III.....   | 90  |
| 3. Propuesta.....   | 90  |
| 3.1. Presentación de la Propuesta.....  | 90  |
| 3.1. Objetivos de la Propuesta. ....  | 91  |
| 3.1.1. Objetivo General. ....   | 91  |
| 3.2. Análisis de Factibilidad. ....   | 91  |
| 3.2.1. Factibilidad Económica.....  | 91  |
| 3.2.2. Factibilidad Operacional. ....   | 94  |
| 3.2.2.1. Pruebas de Viento. ....  | 94  |
| 3.2.2.2. Pruebas de Sol.....  | 95  |
| 3.3. Desarrollo de la Propuesta. ....   | 96  |
| 3.3.1. Elaboración del Prototipo de Generación Eléctrica.....   | 96  |
| 3.3.1.1. Construcción del Remolque.....   | 96  |
| 3.3.1.2. Construcción de la turbina. ....   | 97  |
| 3.3.1.3. Instalación de la parte eléctrica en el remolque.....  | 98  |
| 3.3.1.4. Pruebas técnicas operacionales del prototipo transportable de<br>generación eléctrica y acabados estéticos del proyecto..... | 99  |
| 3.3.2. Conclusiones y Recomendaciones. ....   | 100 |
| 3.3.2.3. Conclusiones.....  | 100 |
| 3.3.2.4. Recomendaciones. ....  | 101 |
| 3.3.3. Referencias Bibliográficas.....  | 102 |
| 3.3.3.3. Bibliografía Citada.....   | 102 |
| 3.3.3.4. Bibliografías Virtuales.....   | 103 |
| 3.3.4. Anexos.....  | 105 |

## INDICE GRÁFICOS:

|                         |   |           |
|-------------------------|---|-----------|
| <b>GRÁFICO No 1. 1</b>  | <b>DIAGRAMA GENERAL DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD. ....</b>   | <b>4</b>  |
| <b>GRÁFICO No 1. 2</b>  | <b>CUADRO DE RESUMEN SOBRE USO DE ENERGÍA.....</b>  | <b>5</b>  |
| <b>GRÁFICO No 1. 3</b>  | <b>PRINCIPIO DE UNA CELDA SOLAR PARA LA CONVERSIÓN<br/>DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR EN ELECTRICIDAD. ....</b> | <b>9</b>  |
| <b>GRÁFICO No 1. 4</b>  | <b>ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO. ....</b>   | <b>10</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 5</b>  | <b>COMPORTAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO EN UN DÍA. ....</b>  | <b>12</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 6</b>  | <b>CURVA DE POTENCIA MÁXIMA EN FUNCION DE LA HORA DEL<br/>DÍA. ....</b>                                   | <b>12</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 7</b>  | <b>MEDIDOR DE RADIACIÓN SOLAR. ....</b>   | <b>14</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 8</b>  | <b>HELIOFANÓGRAFO DE ESFERA DE CRISTAL. ....</b>  | <b>15</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 9</b>  | <b>KITS PARA GENERAR ELECTRICIDAD MEDIANTE ENERGÍA<br/>SOLAR.....</b>                                     | <b>21</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 10</b> | <b>BATERÍA ELÉCTRICA. ....</b>  | <b>22</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 11</b> | <b>CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BATERÍA. ....</b>  | <b>23</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 12</b> | <b>INVERSOR DE CORRIENTE.....</b>   | <b>25</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 13</b> | <b>CONTROLADOR DE CARGA. ....</b>   | <b>27</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 14</b> | <b>ESQUEMA DE UN CONTROLADOR DE CARGA DE TIPO<br/>PARALELO O SHUNT.....</b>                               | <b>28</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 15</b> | <b>ROTOR SAVONIUS.....</b>  | <b>32</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 16</b> | <b>DETALLE DEL ROTOR SAVONIUS.....</b>  | <b>33</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 17</b> | <b>DARRIEUS DE 5[M] DE DIÁMETRO.....</b>  | <b>34</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 18</b> | <b>GIROMILL VISTA FRONTAL.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 19</b> | <b>GIROMILL.....</b>  | <b>35</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 20</b> | <b>DETALLE DE UNA TURBINA SAVONIUS HELICOIDAL.....</b>  | <b>36</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 21</b> | <b>SISTEMA DE FUERZAS EN UN ROTOR DEL TIPO SAVONIUS. ....</b>   | <b>37</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 22</b> | <b>MEDICIONES DEL VIENTO (ANEMÓMETRO DIGITAL). ....</b>   | <b>38</b> |

|                         |  |           |
|-------------------------|--|-----------|
| <b>GRÁFICO No 1. 23</b> | <b>ROSAS DE VIENTO CARACTERÍSTICAS PARA UN FLUJO DOMINANTE DENTRO DE UN VALLE EN UNA PLANICIE SUR Y SUR Y POR ENCIMA DE LAS ELEVACIONES EXTREMAS DE UN VALLE. ....</b> | <b>39</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 24</b> | <b>DIVERSOS TIPOS DE ANEMÓMETROS.....</b>  | <b>40</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 25</b> | <b>RENDIMIENTO RESPECTO AL LÍMITE DE BETZ.....</b>   | <b>42</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 26</b> | <b>ESQUEMA DEL SISTEMA HÍBRIDO.....</b>  | <b>44</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 27</b> | <b>ALTERNADOR. ....</b>  | <b>45</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 28</b> | <b>CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO A.....</b>  | <b>48</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 29</b> | <b>CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO B.....</b>  | <b>49</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 30</b> | <b>CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO C.....</b>  | <b>50</b> |
| <b>GRÁFICO No 1. 31</b> | <b>CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO D.....</b>  | <b>51</b> |
| <br>                    |  |           |
| <b>GRÁFICO No 2. 1</b>  | <b>CURVA DE DEMANDA DIARIA DE UNA VIVIENDA RURAL. ....</b>   | <b>56</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 2</b>  | <b>CURVA DE ENERGÍA. ....</b>  | <b>56</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 3</b>  | <b>CURVA DE CORRIENTE.....</b>   | <b>57</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 4</b>  | <b>CURVA DE VOLTAJE. ....</b>  | <b>57</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 5</b>  | <b>CURVA DE FRECUENCIA. ....</b>   | <b>58</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 6</b>  | <b>IRRADIACIÓN Y HORAS SOLARES PICO.....</b>   | <b>59</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 7</b>  | <b>CURVA DE UN PANEL SOLAR DE 140W<sub>p</sub> EN EL DÍA. ....</b>   | <b>59</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 8</b>  | <b>ANALIZADOR DE RED ELÉCTRICA. ....</b>   | <b>60</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 9</b>  | <b>ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/MESES. ....</b>  | <b>67</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 10</b> | <b>ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/DÍA. ....</b>  | <b>68</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 11</b> | <b>CURVA CARACTERISTICAS DEL PANEL UTILIZADO. ....</b>   | <b>73</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 12</b> | <b>TOMA DE DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE UN LAPSO TIEMPO DE 4 MESES EN (m/s). ....</b>  | <b>74</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 13</b> | <b>CURVA DEL PANEL SOLAR UTILIZADO DE 140W<sub>p</sub>. ....</b>   | <b>77</b> |

|  |  |           |
|--|--|-----------|
| <b>GRÁFICO No 2. 14</b>  | <b>COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL AEROGENERADOR EN EL SECTOR EN ESTUDIO. ....</b>                               | <b>78</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 15</b>  | <b>CURVAS GENERADOR SOLAR Y EÓLICO. ....</b>   | <b>79</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 16</b>  | <b>GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA. ....</b>   | <b>80</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 17</b>  | <b>CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL REPECTO A LA CURVA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL PROTOTIPO. ....</b> | <b>81</b> |
| <b>GRÁFICO No 2. 18</b>  | <b>CURVA DE DEMANDA DIARIA DE UNA VIVIENDA RURAL Y UNA VIVIENDA CATEGORÍA TIPO D.....</b>                    | <b>86</b> |
|  |  |           |
| <b>GRÁFICO No 3. 1, GRÁFICO No 3. 2, GRÁFICO No 3. 3, GRÁFICO No 3. 4, GRÁFICO No 3. 5</b> | <b>CONSTRUCCIÓN DE LA TURBINA HELICOIDAL Y REMOLQUE, PASOA QUE SE SIGUIO PARA SU ELABORACIÓN. ....</b>       | <b>96</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 6</b>   | <b>CONSTRUCCIÓN DE LA CAJA METÁLICA PARA LAS CONEXIONES ELÉCTRICAS. ....</b>                                 | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 7</b>   | <b>REMOLQUE TERMINADO CON SUS RESPECTIVOS COMPONENTES. ....</b>  | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 8</b>   | <b>PLANCHA METÁLICA DE TOL GALVANIZADO.....</b>  | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 9, GRÁFICO No 3. 10, GRÁFICO No 3. 11</b>                                 | <b>CONSTRUCCIÓN DE LA TURBINA EÓLICA HELICOIDAL. ....</b>  | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 12</b>  | <b>FORMACIÓN DE CADA HÉLICE.....</b>   | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 13</b>  | <b>UNIÓN DE LAS HÉLICES. ....</b>  | <b>97</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 14, GRÁFICO No 3. 15</b>  | <b>FORMACIÓN DE LA TURBINA HELICOIDAL...98</b>   |           |
| <b>GRÁFICO No 3. 16</b>  | <b>COLOCACIÓN DE UNA POLEA DE ALUMINIO CON RELACIÓN 12*1.....</b>  | <b>98</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 17</b>  | <b>CHUMACERAS CON RODAMIENTOS. ....</b>  | <b>98</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 18</b>  | <b>BASE DE LA TURBINA HELICOIDAL.....</b>  | <b>98</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 19, GRÁFICO No 3. 20</b>  | <b>CONEXIONES ELÉCTRICAS INTERNAS.....</b>   | <b>99</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 21</b>  | <b>PRUEBAS EN CAMPO.....</b>   | <b>99</b> |



|                         |   |            |
|-------------------------|---|------------|
| <b>GRÁFICO No 3. 22</b> | <b>PINTADO, ENSAMBLADO E INSTALACIÓN DE ELEMENTOS ELÉCTRICOS. ....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>GRÁFICO No 3. 23</b> | <b>PRUEBAS DE OPERACIÓN DEL PROTOTIPO.....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>GRÁFICO No 3. 24</b> | <b>ENSAMBLADO FINAL DE LA PARTE ELÉCTRICA, MECÁNICA Y COMPROBACIÓN DE FUNCIONAMIENTO. ....</b>  | <b>99</b>  |
| <b>GRÁFICO No 3. 25</b> | <b>PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO.....</b>   | <b>100</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 26</b> | <b>VALORES MEDIDOS DE VOLTAJE DC (12V) Y AC (120V). ....</b>  | <b>100</b> |
| <b>GRÁFICO No 3. 27</b> | <b>CULMINACIÓN DEL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS, PARA CUBRIR LA DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL.....</b> | <b>100</b> |

## **INDICE TABLAS:**

|                        |   |           |
|------------------------|---|-----------|
| <b>TABLA No: 1. 1</b>  | <b>EFICIENCIA DE PANELES SOLARES COMERCIALES. ....</b>  | <b>18</b> |
| <b>TABLA No: 1. 2</b>  | <b>GRUPOS DE AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL. ....</b>  | <b>30</b> |
| <b>TABLA No: 1. 3</b>  | <b>ÁREA DE LAS VIVIENDAS POR TIPO. ....</b>   | <b>46</b> |
| <b>TABLA No: 1. 4</b>  | <b>DEMANDA DE CADA TIPO DE VIVIENDA. ....</b>   | <b>47</b> |
| <b>TABLA No: 1. 5</b>  | <b>VARIACIONES DE VOLTAJE ACEPTADAS. ....</b>   | <b>52</b> |
| <b>TABLA No: 2. 1</b>  | <b>DATOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA VIVIENDA EN UN<br/>DIA. ....</b>                            | <b>60</b> |
| <b>TABLA No: 2. 2</b>  | <b>INSOLACIÓN GLOBAL PARA LA ZONA SIERRA CENTRAL DEL<br/>ECUADOR. ....</b>                        | <b>65</b> |
| <b>TABLA No: 2. 3</b>  | <b>ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA<br/>ESTACIÓN DE QUEROCHACA. ....</b>           | <b>66</b> |
| <b>TABLA No: 2. 4</b>  | <b>ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE LA ESTACIÓN DE<br/>QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/DÍA. ....</b> | <b>68</b> |
| <b>TABLA No: 2. 5</b>  | <b>COMPORTAMIENTO ESTANDAR DEL UN PANEL SOLAR UTILIZADO.<br/>.....</b>                            | <b>70</b> |
| <b>TABLA No: 2. 6</b>  | <b>COMPORTAMIENTO A <math>800 \text{ W/m}^2</math>. ....</b>                                      | <b>71</b> |
| <b>TABLA No: 2. 7</b>  | <b>MEDIDAS DE UN PANEL SOLAR DE 140W. ....</b>  | <b>71</b> |
| <b>TABLA No: 2. 8</b>  | <b>MATERIALES EMPLEADOS. ....</b>   | <b>72</b> |
| <b>TABLA No: 2. 9</b>  | <b>PARAMETROS TERMICOS. ....</b>  | <b>72</b> |
| <b>TABLA No: 2. 10</b> | <b>OTRA INFORMACIÓN. ....</b>   | <b>72</b> |
| <b>TABLA No: 2. 11</b> | <b>DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO 1985 HASTA 2008. ....</b>                                     | <b>73</b> |
| <b>TABLA No: 2. 12</b> | <b>DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO 2011. ....</b>  | <b>73</b> |
| <b>TABLA No: 2. 13</b> | <b>MEDICIONES CON EL ANEMÓMETRO (m/s). ....</b>   | <b>74</b> |
| <b>TABLA No: 2. 14</b> | <b>POTENCIAS TEÓRICAS OBTENIDAS CON EL PROTOTIPO DE<br/>AEROGENERADOR HELICOIDAL. ....</b>        | <b>76</b> |
| <b>TABLA No: 2. 15</b> | <b>VALORES DE POTENCIA MÁXIMA Y MÍNIMA EN UN PERIODO DE<br/>SIETE DÍAS. ....</b>                  | <b>82</b> |

|                        |   |           |
|------------------------|---|-----------|
| <b>TABLA No: 2. 16</b> | <b>ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA RURAL, VALORES DE VOLTAJES. ....</b>   | <b>83</b> |
| <b>TABLA No: 2. 17</b> | <b>ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA RURAL, VALORES DE FRECUENCIAS.....</b> | <b>83</b> |
| <b>TABLA No: 3. 1</b>  | <b>POTENCIA MAXIMA DE ELECTRODOMESTICOS.....</b>                                      | <b>91</b> |
| <b>TABLA No: 3. 2</b>  | <b>PROFORMA DE PRECIOS DE CONSTRUCCIÓN DE RED DE MT Y BT.....</b>                     | <b>91</b> |
| <b>TABLA No: 3. 3</b>  | <b>LISTADO DE MATERIALES DEL PROTIPO DE GENERACIÓN ELECTRICA.....</b>                 | <b>92</b> |
| <b>TABLA No: 3. 4</b>  | <b>CONSUMO MENSUAL DE UNA VIVIENDA RURAL. ....</b>                                    | <b>92</b> |

## **RESUMEN**

El objetivo principal del presente trabajo de investigación es el diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural categorizada como usuario tipo D, proporcionando nuevas posibilidades de generar energía eléctrica a través de fuentes alternativas que ayuden a disminuir la contaminación ambiental aprovechando los recursos energéticos naturales como el viento y el sol.

Para las respectivas pruebas de funcionamiento de este prototipo de generación eléctrica se escogió la vivienda del señor Vicente Ramos ubicada en el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua. Los datos obtenidos de la radiación solar y la velocidad del viento durante las 24 horas del día, en el año, se recopiló de la estación meteorológica del INAMHI, ubicada en sector de Querochaca (UTA), obteniendo una insolación solar promedio de  $4225\text{Wh/m}^2$  en el día, una heliofanía promedio de 4,3 horas/día y una velocidad de viento promedio de 20 m/s en el día.

Con los resultados obtenidos se dimensionó un panel solar con capacidad de 140Wp, un alternador eléctrico de 40A, un banco de baterías de 100Ah, controladores de carga de 10A y 40A, inversores de 200W y 400W de 12V/120V.

Se construyó una turbina de eje vertical tipo helicoidal con medidas de 1.40 metros de alto y una base de 0.80 metros elaborado de tol galvanizado acoplándolo en un eje de acero inoxidable, en los extremos del eje se encuentra acoplado en chumaceras con rodamientos, las pruebas operacionales de la turbina indican que funciona con una velocidad de viento a partir de 4 m/s, todos los elemento que corresponde el generador eléctrico híbrido diseñado y construido se encuentran acoplados en un remolque vehicular para poder ser transportado. Se cumplió con el objetivo de generar energía eléctrica en cualquier sector rural.

## ABSTRACT

The research aimed a portable prototype design and construction of power generation with alternative energy by using alternative energy to meet the request of a rural housing categorized as user type D, providing new opportunities for generating alternative energy to reduce pollution environmental exploiting natural energy resources such as wind and sun. To test the performance of this electric prototype of generation we have chosen a place for its putting into practice in Querochaca area, Cevallos district of the Tungurahua province. The energy extracted from wind or eolica which is related to the movement of air masses which move from high atmospheric areas of pressure to nearby areas to low pressure and solar photovoltaic energy it works with global radiation from the sun, the results of behavioral data of solar radiation and wind speed 24 hours a day, a year, they are collected up in the Querochaca meteorological station INAMHI (UTA), gaining an average solar insolation 4225Wh/m<sup>2</sup> by day, an average Heliophany 4.3 hours/day and average wind speed of 13 m/s per daytime. The solar panel results obtained with a 140Wp capacity, an electric alternator 40A, a 100Ah battery set, charge controllers 10A and 40A, 200W and 400W, investors for 12V/120V was sized. Turbine vertical axis helical type with measures 1.40 meters high with a base of 0.80 meters elaborate of galvanized material coupling it into a stainless steel shaft, at the ends of the shaft is coupled bearings with ball was drawn, the operational tests indicates turbine operating at a wind speed of from 4 m/s, every single element corresponding to hybrid electric generator designed and constructed which is sitting on a towing vehicle to be transported.

## **INTRODUCCIÓN:**

Entre los principales temas de discusión que se plantea actualmente la sociedad, demandando gran cantidad de esfuerzo en aspectos de investigación y desarrollo, está la búsqueda de fuentes de energía alternativas que contribuyan a disminuir la dependencia energética de los combustibles fósiles. En este contexto, el estudio de las llamadas “energías alternativas”, es de suma importancia, pues la tecnología involucrada está encaminada al aprovechamiento de recursos considerados inagotables como el sol, el viento, el agua, la vegetación o el calor del interior de la tierra.

Actualmente, una de las formas de generación eléctrica mediante la utilización de energías alternativas es la eólica, que presenta numerosas ventajas respecto de las formas convencionales de producción de electricidad.

Si bien a gran escala en los países desarrollados a nivel mundial los esfuerzos para generar energía eléctrica no contaminante es mediante la implementación de generadores eólicos de eje horizontal o vertical de gran tamaño.

Un aspecto importante es que recientemente ha venido aumentando el interés por estudiar las turbinas eólicas de eje vertical, ya que presentan ciertas ventajas cuando se comparan con las tradicionales y ampliamente estudiadas turbinas de eje horizontal en sistemas de generación de baja potencia.

Estos sistemas se proyectan para sacar provecho de vientos locales de montaña, entornos urbanos, sectores rurales, edificaciones, lugares donde se presentan características propicias para la generación eléctrica de mediana y baja potencia.

La energía solar se utiliza como fuente de energía renovable, la cual se capta a través de paneles fotovoltaicos y se almacena en baterías para suministrar energía a diversos equipos.

Para la implementación de un sistema híbrido de generación eléctrica se requiere de mediciones de viento y de radiación solar, los datos se obtienen de la vivienda del señor Vicente Ramos ubicada en el sector rural de Querochaca, cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua

Bajo esa perspectiva, el presente trabajo contempla el diseño y la construcción de un prototipo de generación eléctrica, mediante las energías alternativas como la eólica y solar para abastecer una vivienda rural con el objetivo de cubrir su demanda máxima.

# CAPÍTULO I

## *1. Fundamentación Teórica.*

### *1.1. Energía.*

Desde la antigüedad la energía empleada en cada actividad era la humana, pasando los años el ser humano evolucionó llegando a tener una vida activa, al industrializarse llegó a utilizar los combustibles fósiles que son contaminantes, las investigaciones comprobaron que existe otra forma de emplear energía no contaminante, y a la vez que sea muy práctico como son las energías alternativas.

Según, BLIGOO. Historia De La Energía, Disponible en Web: <http://energia.bligoo.com.co/historia-de-la-energia#.Uko5a1NVWSp> [Consulta: 18 de Septiembre de 2013].

La primera fuente de energía no solar que utilizaron las sociedades humanas fue la misma fuerza humana. Más tarde al dominarse el fuego, empezó a usarse la leña (fuente de energía vegetal). Luego se logró la domesticación de algunos animales de tiro o de carga, que sirvieron para algunas tareas agrícolas o en el transporte.

Durante la edad antigua algunas civilizaciones empezaron a utilizar la energía eólica en la navegación. En la primera revolución industrial alcanzó gran importancia la utilización del carbón para permitir el funcionamiento de las máquinas de vapor. Luego este fue reemplazado por el petróleo, durante el segundo impulso industrial y hasta en la actualidad sigue siendo la principal fuente energética.

Durante este siglo y a finales del anterior, se comenzó a utilizar las importantes propiedades energéticas del gas natural, así como en las últimas décadas se inició el desarrollo serio de fuentes de energía alternativas.



## ***1.2. Fuentes de Energía a través de los Años.***

Según, BLIGOO. Fuente de energía a través de los años, Disponible en Web: <http://energia.bligoo.com.co/historia-de-la-energia#.Uko5a1NVWSp> [Consulta: 18 de Septiembre de 2013].

De las fuentes de energía, la primera y más importante de las utilizadas por el hombre fue la leña, gracias a la abundancia de bosques que proliferaban por todas partes del mundo. Otras fuentes puntuales solamente se utilizaban allí donde eran accesibles, tales como filtraciones superficiales de petróleo, carbón o asfaltos.

Esta comenzó a utilizarse en la edad media para fabricar carbón vegetal, y que posteriormente vendría a ser sustituido por el carbón mineral en los principios de la revolución industria.

## ***1.3. Formas de Energías Empleadas.***

Según, BLIGOO. Formas de Energías Empleadas, Disponible en Web: <http://energia.bligoo.com.co/historia-de-la-energia#.Uko5a1NVWSp> [Consulta: 18 de Septiembre de 2013].

El ser humano realiza trabajo empleando su propia energía, este tipo de energía puede ser al levantarse de la cama, caminar, correr, saltar, etc.

Según, GONZÁLEZ Antonio, Energía 3 (2009. Pag. 5), Cualquiera de las actividades que realiza el ser humano a diario precisa del empleo de energía. En otros tiempos solo se podía recurrir al esfuerzo físico de personas o animales, al calor de la leña ardiendo o a la fuerza del aire y del agua al mover los molinos. Actualmente en nuestra sociedad las dos formas de energía más empleadas son los combustibles fósiles y la electricidad.

### ***1.3.1. Los combustibles***

El extraordinario poder energético de los combustibles, desde la madera hasta los combustibles fósiles como el carbón, el gasóleo, la gasolina o el gas natural, se aprovecha de forma directa en algunas aplicaciones tan comunes como el

cocinado de alimentos, la calefacción. En los medios de transporte son insustituibles por la dificultad de almacenar la energía eléctrica.

### ***1.3.2. La energía eléctrica.***

La mayoría de las máquinas y aparatos que se utiliza habitualmente funcionan con energía eléctrica. La energía que recibe el equipo se transforma en su interior produciendo a su salida diferentes tipos de efectos, como calor, luz, imágenes, sonidos o movimientos.

### ***1.3.3. La producción de energía eléctrica.***

Para que funcionen pequeños aparatos eléctricos, teléfonos móviles, radio, es suficiente con la energía eléctrica que suministran las pilas o baterías. Sin embargo, la mayoría de máquinas y aparatos eléctricos necesitan más cantidad de energía, que debe ser suministrada, de forma constante, a través de una red eléctrica.

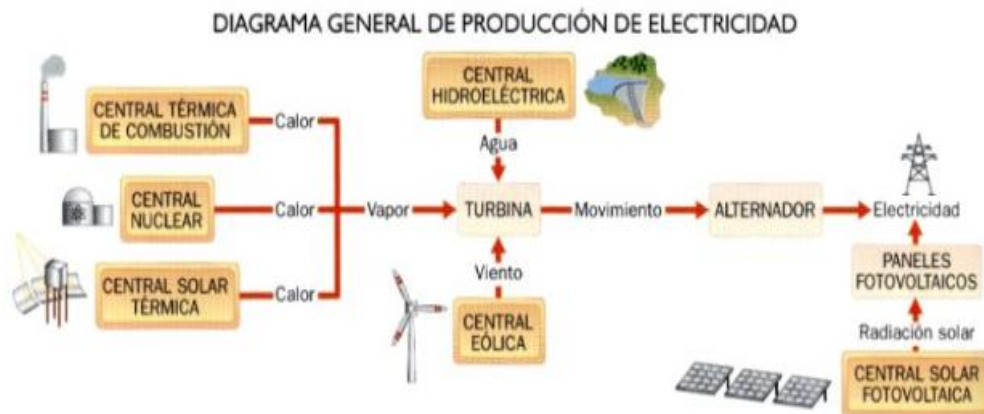
Según, <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/09/la-energia-electrica.pdf>; La producción de energía se realiza en centrales eléctricas, y debe ajustarse al consumo.

La ubicación de las centrales de producción de electricidad debe estar lo más próxima posible a los centros de consumo, además estos centros deben estar interconectados entre sí para poder efectuar intercambios de energía desde las zonas excedentes de producción hacia aquellas en que la producción no cubre el consumo. Los principales tipos de centrales de producción de energía eléctrica a son:

- Centrales Térmicas de Combustión
- Central Nuclear
- Central Solar Térmica
- Central Hidroeléctrica
- Central eólica
- Central Solar Fotovoltaica

En el gráfico No. 1.1 se puede observar el diagrama general de producción de electricidad y el funcionamiento de cada tipo de central.

**GRÁFICO No 1. 1** DIAGRAMA GENERAL DE PRODUCCIÓN DE ELECTRICIDAD.



**FUENTE:** Diagrama General de producción de electricidad, Disponible en Web: <http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/09/la-energia-electrica.pdf>

**RECOPIADO POR:** Los Investigadores.

En el siguiente gráfico No. 1.2 se resume como está compuesto un sistema eléctrico de potencia, desde su generación hasta el consumo de una carga.

**GRÁFICO No 1. 2** CUADRO DE RESUMEN SOBRE USO DE ENERGÍA.



**FUENTE:**<http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/09/la-energia-electrica.pdf>

**RECOPIADO POR:** Los Investigadores.

### ***1.4. Clasificación de la Energía Eléctrica.***

Los Recursos energéticos se los nombra a las materias o fenómenos procedentes de la naturaleza y de los que se aprovecha para producir la energía eléctrica como puede ser. El viento, el petróleo, el sol, la fuerza del agua o materiales como el uranio son “recursos energéticos”.

Dependiendo de que el recurso que se emplee para generar energía se agote o la naturaleza lo renueve, los recursos energéticos pueden ser:

- Energías renovables
- Energías no renovables

#### ***1.4.1. Energías renovables.***

Las fuentes de energía renovables son aquellas que tras ser utilizadas, se pueden regenerar de manera natural. Algunas de estas fuentes renovables están sometidas

a ciclos que se mantienen de forma más o menos constante en la naturaleza. En general, provienen de la energía que llega ininterrumpidamente a la tierra a través de la radiación solar o de la atracción gravitatoria de otros planetas. Por ejemplo:

- Energía mareomotriz (subida y bajada del nivel del mar por mareas).
- Energía geotérmica (Calor interno de la tierra).
- Energía hidráulica (Agua almacenada en embalses y su movimiento en los ríos).
- Energía eólica (movimiento del aire debido al viento).
- Energía solar (luz y calor de la radiación solar).
- Energía de la Biomasa (vegetación y restos orgánicos de actividades agrícolas e industriales, basura, etc.).

**No convencionales o alternativas:** se trata de fuente de energía que no han sido usadas masivamente para producir energía o que están investigando su desarrollo tecnológico para poder sustituir a las convencionales. Son las renovables a excepción de la hidráulica y la nuclear de fusión.

#### ***1.4.2. Energías no renovables.***

Aquellas que existen en cantidad limitada y se agotan por su consumo. Su tasa de renovación es escasa humana.

- Combustible nuclear: Uranio.
- Recursos fósiles: carbón, gas, petróleo.

Se trata de fuentes de energía que tradicionalmente se han usado.

**Convencionales:** se trata de la fuente de energía que tradicionalmente se han usado en los países industrializados para producir energía a gran escala. Principalmente son todos los combustibles fósiles.

### ***1.4.3. Impacto ambiental:***

- Limpias o no contaminantes: son fuentes de energía cuyo consumo no genera residuos y tienen impacto ambiental mínimo.
- Contaminantes: son fuentes de energía cuyo consumo genera residuos contaminantes y al mismo tiempo tiene un impacto ambiental considerable. Son todos los combustibles.

## ***1.5. Análisis de la Energía Solar y Eólica.***

Por razones ambientales se ha visto necesaria buscar otras alternativas de generación eléctrica, se ha concluido que las energías proveniente del Sol, Viento y de la Tierra (geotérmica) son las opciones más acertadas.

### ***1.5.1. Energía Solar.***

- El Sol emite energía las 12 horas al día, los 365 días del año al planeta. Todos los lugares reciben esta energía según la ubicación (latitud),
- es abundante y gratuita,
- no es contaminante, como el petróleo y el carbón,
- no tiene desechos radioactivos, como la nuclear, etc.
- ocupa menor área por watio de la producción de energía,
- nadie puede aumentar su precio,
- no necesita algún tipos de cables o tanques, para su transportación.
- no se puede secuestrar este gran fuente,
- El Sol es responsable de que en nuestro planeta existan las condiciones adecuadas para la supervivencia de la vida humana, animal y vegetal.

Según, Dirección General de Cooperación y Asistencia Financiera Argentina. Disponible en Web: [http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos\\_didacticos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivos/Reorganizacion/contenidos_didacticos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf)

[consulta: 19 de Septiembre de 2013], Nuestro planeta recibe del sol una cantidad de energía anual de aproximadamente 1,6 millones de kWh, de los cuales sólo un 40% es aprovechable, una cifra que representa varios cientos de veces la energía

que se consume actualmente en forma mundial; es una fuente de energía descentralizada, limpia e inagotable.

El aprovechamiento energético está entonces condicionado por la intensidad de radiación solar recibida por la tierra, los ciclos diarios y anuales a los que está sometida y las condiciones climatológicas del lugar.

#### ***1.5.1.1. Conversión directa de la energía solar en electricidad:***

Es necesario entender cómo se puede obtener electricidad por medio del sol, existe muchas formas como son:

- Concentradores cilindro-parabólicos
- Concentrador lineal de Fresnel (Espejos planos)
- Concentradores de disco.

El principio de los espejos es concentrar la luz que recibe del sol hacia un sistema de tuberías hasta un punto en el que se transfiere ese calor a un tanque de agua. El vapor generado al calentarse el agua se utiliza para mover una turbina de vapor que deriva la energía mecánica y este se encuentra acoplado con un generador de electricidad.

También se puede generar electricidad solar en forma fotovoltaica, esto es por medio de celdas las cuales son semiconductores que reciben la radiación solar generando electricidad, una célula fotovoltaica es el equivalente de un generador de energía a la que se ha añadido un diodo.

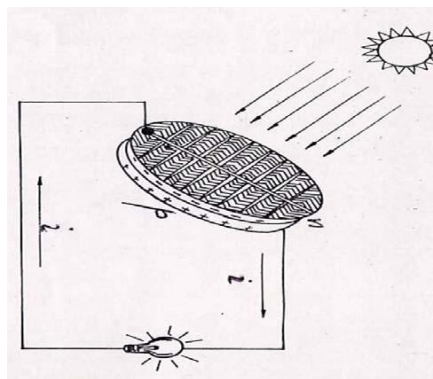
Según, Shyam S. Nandwani (\*) Ph.D.(2008, Pag. 19-20), Energía Solar”, La radiación solar se puede transformar directamente en electricidad (efecto fotovoltaico) por medio de aparatos, celdas solares o pilas solares, las cuales son semiconductores puros dopados con cantidades diminutas (1ppm) de otros elementos. Varios conductores pueden emplearse, pero se prefiere el de silicio por razón de abundancia, costo (~US\$10/Watio), y principalmente por estabilidad y rendimiento (~10-15%). Es decir la electricidad producida por una celda solar de 1m<sup>2</sup>, la cual está expuesta a radiación solar de 1000 Watios/m<sup>2</sup>, será de 100 Watios.

Una celda solar típica está formada por dos capas delgadas de silicio, cada uno de ellas con un alambre (+ y -) incorporado cuyo extremo sale al exterior.

En una de las capas, algunos de los átomos de silicio están reemplazado por átomo de fósforo (formando negativo o tipo N) y en la otra, por átomos de boro (formado positivo o tipo P). La unión entre dos capas crea una diferencia de potencial. La luz solar o visible induce a los electrones libres a moverse por el alambre de la capa tipo N hacia la capa de tipo P, con lo que se produce una corriente eléctrica.

Cada celda de silicio produce cerca de 0.58 voltios y varias celdas pueden conectarse eléctricamente en forma de serie y/o paralelo, para formar un módulo (con mayor voltaje o mayor corriente), que es una unidad básica de los sistemas eléctricos solares.

**GRÁFICO No 1. 3 PRINCIPIO DE UNA CELDA SOLAR PARA LA CONVERSIÓN DIRECTA DE ENERGÍA SOLAR EN ELECTRICIDAD.**



**FUENTE:** Shyam S. Nandwani (\*) Ph.D.(2008, Pag. 19-20).

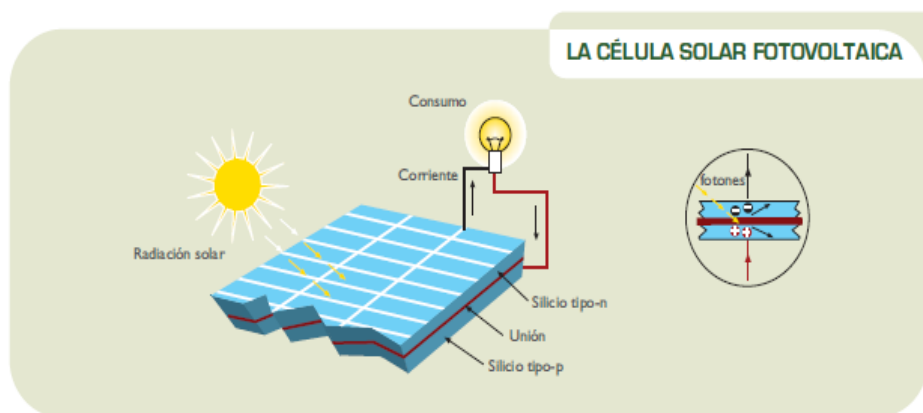
**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Por la acción de la energía solar sobre una celda fotovoltaica la corriente producida es almacenada en baterías, para luego ser utilizadas.



### 1.5.1.2. *Panel solar fotovoltaico.*

**GRÁFICO No 1. 4** ENERGIA SOLAR FOTOVOLTAICO.



**FUENTE:** SUBIELA ORTIN, Vicente. “Energías renovables y eficiencia energética”. Primera edición, abril 2008. Pág. 64-70.

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

#### *a. Generación eléctrica con energía solar fotovoltaica.*

Según, SUBIELA ORTIN, Vicente. “Energías renovables y eficiencia energética”. Primera edición, abril 2008. Pág. 64-70. La energía solar se puede transformar directamente en electricidad mediante células fotovoltaicas. Este proceso se basa en la aplicación del efecto fotovoltaico, que se produce al incidir la luz sobre unos materiales denominados semiconductores; de esta manera se genera un flujo de electrones en el interior del material que puede ser aprovechado para obtener energía eléctrica.

Un panel fotovoltaico está constituido por varias células fotovoltaicas conectadas entre sí y alojadas en un mismo marco.

Las células fotovoltaicas se conectan en serie, en paralelo o en serie-paralelo, en función de los valores de tensión e intensidad deseados, formando los módulos fotovoltaicos.

Las instalaciones fotovoltaicas se caracterizan por:

- Su simplicidad y fácil instalación.
- Ser modulares.
- Tener una larga duración (la vida útil de los módulos fotovoltaicos es superior a 30 años).
- No requiere mantenimiento.
- Tener una elevada fiabilidad.
- No producir ningún tipo de contaminación ambiental.
- Tener un funcionamiento totalmente silencioso.

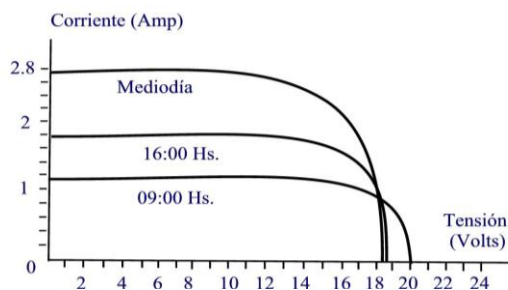
Un panel fotovoltaico produce electricidad en corriente continua y sus parámetros característicos (intensidad y tensión) varían con la radiación solar que incide sobre las células y con la temperatura ambiente.

La electricidad generada con energía solar fotovoltaica se puede transformar en corriente alterna, con la utilización de inversores.

***b. Potencia máxima de salida del panel solar fotovoltaico durante el día.***

Según, Anónimo, Disponible en Web: [http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/4\\_Curvas\\_Caracteristicas/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/), La característica I - V del módulo varía con las condiciones ambientales (radiación, temperatura), Ello quiere decir que habrá una familia de curvas I-V que nos mostrarán las características de salida del módulo durante el día, como se puede observar en el gráfico No. 1.5.

**GRÁFICO No 1. 5** COMPORTAMIENTO DEL PANEL FOTOVOLTAICO EN UN DÍA.



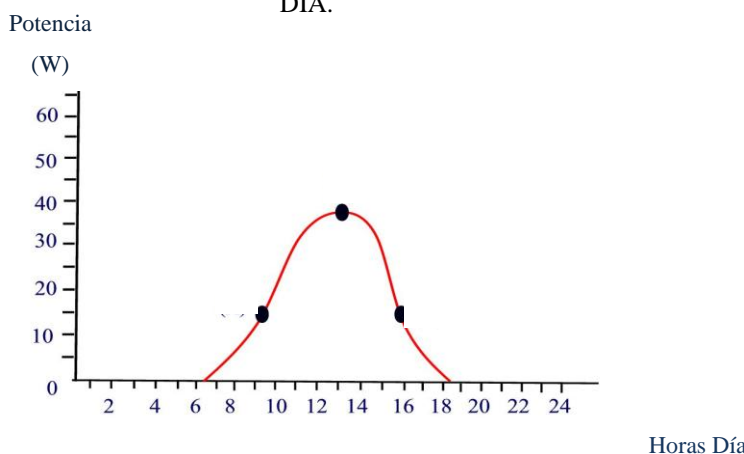
**FUENTE:** Anónimo, Disponible en Web:  
[http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/4\\_Curvas\\_Caracteristicas/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/)

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

El panel solar fotovoltaico genera electricidad por medio de la radiación solar, pero en el día existe radiaciones solares máximas y radiaciones solares mínimas, es elemental analizar a qué hora tenemos la máxima radiación del sol.

La curva de potencia máxima de un módulo está en función de las horas del día.

**GRÁFICO No 1. 6** CURVA DE POTENCIA MÁXIMA EN FUNCION DE LA HORA DEL DÍA.



**FUENTE:** Anónimo, Disponible en Web:  
[http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/4\\_Curvas\\_Caracteristicas/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/)

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

La cantidad de energía que el módulo es capaz de entregar durante el día está representada por el área comprendida bajo la curva como se puede observar en el gráfico No. 1.5, y se mide en Watts hora/día. Se observa que no es posible hablar de un valor constante de energía entregada por el módulo en Watts hora ya que varía dependiendo de la hora del día.

### ***c. Mediciones la energía solar fotovoltaica.***

Para su caracterización, los módulos se miden en unas condiciones determinadas denominadas condiciones estándar: 1000 W/m<sup>2</sup> (1 kW/m<sup>2</sup>) de radiación solar y 25 °C de temperatura de las células fotovoltaicas. La máxima potencia generada en estas condiciones por cada módulo fotovoltaico se mide en Wp (vatios pico); a esta potencia se la denomina potencia nominal del módulo.

- **Medidores de radiación solar.**

Según, ELEKTRON, Medidor de radiación solar. Disponible en Web: [http://www.tiendaelektron.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=505](http://www.tiendaelektron.com/catalog/product_info.php?products_id=505).

Los medidores de radiación solar son de gran utilidad en la planificación y mantenimiento de parques fotovoltaicos. Los medidores de radiación solar le ayudan a la hora de seleccionar la ubicación, observando si es factible para su implementación. En la búsqueda de energías alternativas, la radiación solar ha adquirido una gran importancia. Además del aprovechamiento de la radiación solar por colectores térmicos, la instalación fotovoltaica convierte a la energía solar en energía eléctrica. Sin embargo, para realizar este tipo de instalación es importante efectuar una buena planificación. Los medidores de radiación solar le permiten registrar durante un determinado espacio de tiempo la luz directa del sol.

Los valores se almacenan en la memoria interna, lo que permite leer y analizar posteriormente los valores en un PC. Esto le permite también efectuar mediciones comparativas para determinar el posicionamiento óptimo de su parque fotovoltaico. Para garantizar un amplio rendimiento de las células fotovoltaicas es necesario efectuar un mantenimiento regular.

**GRÁFICO No 1. 7** MEDIDOR DE RADIACIÓN SOLAR.



**FUENTE:** ELEKTRON, Medidor de radiación solar. Disponible en Web: [http://www.tiendaelektron.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=505](http://www.tiendaelektron.com/catalog/product_info.php?products_id=505).

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

- **La Heliofanía.**

La duración del brillo solar o Heliofanía en horas, representa el tiempo total durante el cual incide luz solar directa sobre alguna localidad, entre el amanecer y el atardecer. El total de horas de brillo solar de un lugar es uno de los factores que determinan el clima de esa localidad. Este elemento meteorológico es importante en casi todas las formas de actividad y empresas humanas. Sectores como el agrícola, forestal, turismo, construcción, deportes y energía, dependen y planifican aspectos del cumplimiento de sus programas y actividades futuras sobre la perspectiva de disponer de suficiente horas de brillo solar durante el día.

El conocimiento adecuado del régimen del brillo solar permite estimar características cuantitativas de la nubosidad y radiación solar de forma que se pueda tener una idea sobre la disponibilidad luz del sol para el aprovechamiento de la energía solar en el país.

Según, Duración de Brillo Solar u Horas de Sol. Disponible en Web. [http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php); Está ligada al hecho de que el instrumento utilizado para su medición, heliofanógrafo, registra el tiempo en que recibe la radiación solar directa.

La ocurrencia de nubosidad determina que la radiación recibida por el instrumento sea radiación solar difusa, interrumpiéndose el registro. Por lo tanto, si bien hay energía incidente disponible, la concentración o densidad de la misma no es suficiente para ser registrada.

El Heliofanógrafo es el instrumento que permite medir la duración del brillo solar. Como apreciamos en la gráfica No. 1.8, es una esfera de cristal que concentra los rayos solares y quema una faja subdividida en intervalos de tiempo, a medida que la inclinación del sol va variando, va quemando la faja, al disminuir la intensidad del brillo solar, ya sea por nubosidad u otras razones, la faja deja de quemarse. Esto nos permite obtener un registro de las horas de sol que se tienen en el día.

**GRÁFICO No 1. 8** HELIOFANÓGRAFO DE ESFERA DE CRISTAL.



**FUENTE:** Duración de Brillo Solar u Horas de Sol. Disponible en Web.  
[http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php)

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Con la siguiente ecuación No. 1.1 determinamos las horas de duración de brillo solar o heliofanía dividiendo el valor de insolación global o radiación solar que existe en el sector sobre la potencia en condiciones estándar del módulo que es una constante de  $1000 \text{ W/m}^2$ .

**Datos:**

HPS: Horas Pico Sol.

Ec: 1.1

$$HPS(h) = \frac{\text{Insolación Global } \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{\text{Potencia condiciones estandar del módulo } \left(\frac{W}{m^2}\right)}$$

Con este cálculo se determina las horas de brillo solar en el sector en el día, donde se presume instalar un sistema de generación solar por paneles fotovoltaicos.

- **Insolación.**

Se define tiempo de insolación a la suma de los intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar directa (normal al sol) supera los 120 W/m<sup>2</sup>. Otra definición basada en la medida de la radiación solar global, delimita la Insolación como la suma de intervalos de tiempo durante los cuales la radiación solar global es 0,4 veces mayor que la radiación solar potencial en el exterior de la atmósfera terrestre, medidas ambas en el plano horizontal.

Una metodología para calcular la potencia solar en el sector en el día (PSD), es dividiendo la energía producida en el día sobre el número de horas sol pico (Heliofanía), dado que no todas las horas de sol son de la intensidad considerada como pico (1000W/m<sup>2</sup>).

**Datos:**

PSD: Potencia Solar Diaria.

Ec: 1.2

$$PSD = \frac{\text{Insolación Global } \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{\text{Heliofanía } \left(\frac{h}{\text{día}}\right)}$$

Con la aplicación de esta ecuación 1.2, se verifica si el lugar cumple con las condiciones óptimas naturales para instalar un panel solar fotovoltaico.

***d. Material de fabricación y estructura de los paneles solares fotovoltaicos.***

Según, Control Digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar. Disponible en Web:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/martinez\\_h\\_d/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf); pag. 14. El material más utilizado en la actualidad para la fabricación de células fotovoltaicas es el silicio, que es el material más abundante en la Tierra después del oxígeno; la combinación de ambos forma el 60% de la corteza terrestre.

Las celdas solares de silicio pueden ser de tipo monocristalinas, policristalinas y amorfas. La diferencia entre ellas radica en la forma como los átomos de silicio están dispuestos, es decir, en la estructura cristalina.

Tradicionalmente han coexistido tres tipos de células de silicio.

- Silicio monocristalino: utiliza lingotes puros de silicio (los mismos que utiliza la industria de chips electrónicos).
- Silicio policristalino: se fabrica a partir de restos de piezas de silicio monocristalino. Por su menor costo a diferencia de las monocristalino han contribuido enormemente a aumentar su uso.
- Silicio amorfo: se obtiene por deposición de capas delgadas sobre vidrio. El rendimiento es bastante menor que los anteriores, por lo que su uso se limita a aplicaciones de pequeña potencia como calculadoras, relojes, etc.

Existe, además, una diferencia en la eficiencia. Por eficiencia se entiende el porcentaje de luz solar que es transformado en electricidad. Las celdas solares de silicio monocristalino y policristalino tienen alto nivel de eficiencia con respecto a las de silicio amorfo como se puede observar en la tabla No. 1.1.

Una celda solar típica está compuesta de capas. Primero hay una capa de contacto posterior y, luego, dos capas de silicio. En la parte superior se encuentran los contactos de metal frontales con una capa de antireflexión, que da a la celda solar su típico color azul.



Durante la última década, se han estado desarrollando nuevos tipos de celdas solares de materiales diversos, por ejemplo, las celdas de película delgada, las celdas de CIS (diseleniuro de indio de cobre) y CdTe (telururo de cadmio). Éstas están comenzando a ser comercializadas.

**TABLA No: 1. 1 EFICIENCIA DE PANELES SOLARES COMERCIALES.**

| Eficiencias de celda: |         |
|-----------------------|---------|
| Monocristalina:       | 12-15 % |
| Policristalina:       | 11-14 % |
| Amorfa:               | 6-7 %   |
| telururo de cadmio:   | 7-8 %   |

**FUENTE:** Control Digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar. Disponible en Web:

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/martinez\\_h\\_d/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf); pag. 14

**RECOPIADO POR:** Los Investigadores.

#### ***e. Vida de una instalación fotovoltaica.***

El módulo fotovoltaico se estima que tiene una vida útil superior a 30 años, constituyendo la parte más fiable de la instalación. La experiencia indica que los paneles nunca dejan de producir electricidad, aunque su rendimiento pueda disminuir ligeramente con el tiempo. Las instalaciones más antiguas es de los años 60-70 y aún continúan operativas.

En general se trata de equipos fabricados para resistir todas las inclemencias del tiempo, además las células están hechas de silicio, que es un material muy resistente.

#### ***f. Instalaciones aisladas***

Segun, Instalaciones Aisladas. Disponible en Web.  
<http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>; “Panel Solar”

Para poder hallar la potencia necesaria que se ha de instalar en un sistema aislado, se calcular primero el consumo eléctrico de la vivienda o instalación en cuestión.

Este consumo se divide por las horas de sol pico del mes más desfavorable y así se obtendría la potencia fotovoltaica que habría que instalar.

La vida útil de una instalación de este tipo se estima en 30 años. Pero se ha de tener en cuenta que la batería deberá cambiarse cada 10 años (si se realiza un buen mantenimiento); no así los paneles fotovoltaicos ni otros elementos de la instalación, los cuales, en condiciones normales y con un mantenimiento sencillo, funcionarán durante todo ese periodo de tiempo.

***g. Definiciones de tabla de características que comúnmente contiene una placa de un panel solar fotovoltaico.***

- **Potencia en el punto de máxima potencia:** es el máximo valor de potencia que puede entregar el dispositivo. Corresponde al punto de la curva en el cual el producto  $V \times I$  es máximo.
- **Tensión en vacío:** máxima tensión que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiendo a circulación de corriente nula y consecuentemente a potencia nula.
- **Tensión a potencia máxima:** tensión que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como tensión nominal del mismo.
- **Corriente de cortocircuito:** máxima corriente que puede entregar un dispositivo bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura correspondiente a tensión nula y consecuentemente a potencia nula.
- **Corriente a potencia máxima:** corriente que entrega el dispositivo a potencia máxima bajo condiciones determinadas de radiación y temperatura. Se la utiliza como corriente nominal del mismo.
- **Células fotovoltaicas:** es un dispositivo electrónico que permite transformar la energía lumínica (fotones) en energía eléctrica (flujo de electrones libres) mediante el efecto fotoeléctrico, generando energía solar fotovoltaica.

- **NOCT:** La celda de temperatura de trabajo nominal (NOCT, Nominal Operating Cell Temperature), se define como la temperatura alcanzada por las células en circuito abierto en un módulo en las condiciones que se enumeran a continuación:
- **$TCI_{SC}$ :** es el coeficiente de corriente del panel.
- **$TCU_{\infty}$ :** es el coeficiente de voltaje del panel.
- **$TCP_{mpp}$ :** es el coeficiente de potencia máxima.

#### ***1.5.1.3. Dimensionamiento e Instalación Energía Solar en Casa.***

Según, Dimensionamiento de Energía Solar. Disponible en Web: <http://aytuto.blogspot.com/2013/05/calcular-paneles-y-baterias-para.html#.U0Ld-KInrhk>; “Instalación de Energía Solar”

Para instalar un sistema de generación eléctrica se analiza el comportamiento de la carga que lo vaya a consumir, esto por medio de cálculos de la carga instalada en una vivienda.

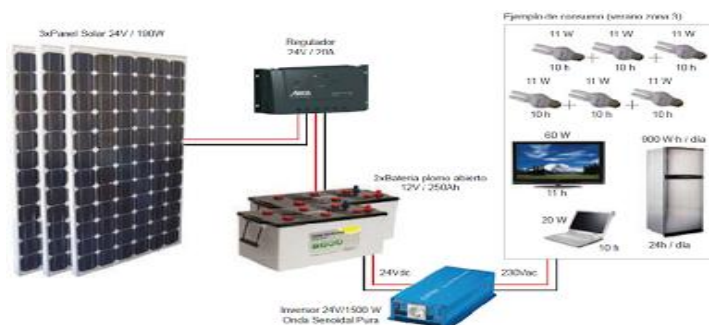
Al conocer el comportamiento de carga instalada de una vivienda, se dimensiona el panel solar fotovoltaico, controlador, baterías, inversor.

##### ***1.5.1.3.1. Generación propia de electricidad.***

Para instalar un sistema de generación eléctrica mediante energías alternativas, existen muchos kits que constan principalmente de tres elementos:

- Paneles solares
- Baterías
- Elementos de conexión (cables, inversor, etc.)

**GRÁFICO No 1. 9 KITS PARA GENERAR ELECTRICIDAD MEDIANTE ENERGÍA SOLAR.**



**FUENTE:** Dimensionamiento de Energía Solar. Disponible en Web: <http://aytuto.blogspot.com/2013/05/calcular-paneles-y-baterias-para.html#.U0Ld-KInrhk>; “Instalación de Energía Solar”

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Es necesario energía eléctrica para alimentar a los aparatos que hay en una casa. Cada aparato consume una cantidad de energía distinta y esta se mide en VATIOS (W).

$$\text{Energía (Wh)} = \text{Potencia(W)} \times \text{Tiempo(h)}$$

Ec: 1.3

De esa forma se determina la potencia consumida en un intervalo de tiempo, para realizar el dimensionamiento de los componentes eléctricos que tiene una vivienda es necesario conocer la curva de demanda diaria máxima.

**a. Paneles Solares**

Para conocer si un panel solar fotovoltaico producirá suficiente energía eléctrica, es necesario realizar cálculos de demanda diaria.

Por ejemplo si una bombilla de 12 W permanece encendida todo el día es necesario generar:

$$12 \text{ W} \times 24 \text{ horas} = 288 \text{ Wh}$$

Si el panel produjera 400 Wh/día se tiene energía para mantener la bombilla encendida todo el día.

Si un panel fotovoltaico tuviera una capacidad de producción de energía eléctrica de por ejemplo 165 Wp (vatios pico) se realiza el siguiente cálculo:

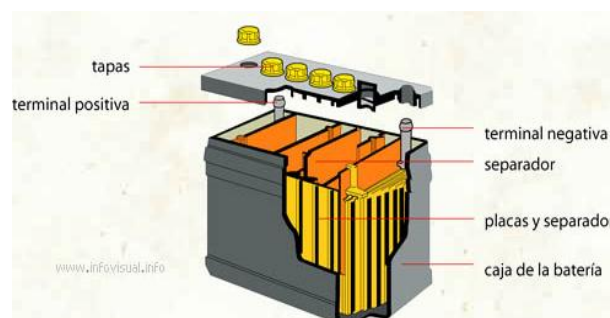
$$\begin{aligned} \text{Energía al día} &= P \times t \times HPS \\ 165 \text{ Wp} \times 5 \text{ HSP} &= 825 \text{ Wh/día} \end{aligned} \quad \text{Ec: 1.4}$$

Siendo 5 HSP una medida estándar que se utiliza para definir la radiación solar media que podría recibir el panel solar durante un día soleado. En este caso se tiene energía suficiente para dos bombillas.

### ***b. Baterías***

Según, Ind. Nuestra Sra. de Butarque (<http://www.regenbat.com/tipos-regenbat-regeneracion-baterias.php>; 2009; 2013,04, 20; 13:25) "Batería", Se le denomina batería, batería eléctrica, acumulador eléctrico o simplemente acumulador, al dispositivo que almacena energía eléctrica, mediante procedimientos electroquímicos que posteriormente la devuelve casi en su totalidad; este ciclo puede repetirse por un determinado número de veces. Se trata de un generador eléctrico secundario; es decir, un generador que no puede funcionar sin que se le haya suministrado electricidad previamente mediante lo que se denomina proceso de carga.

**GRÁFICO No 1. 10 BATERÍA ELÉCTRICA.**



**FUENTE:** DERY Bernard, Disponible en Web: ([http://www.infovisual.info/05/011\\_es.html](http://www.infovisual.info/05/011_es.html); 2011; 2013, 04, 20; 13:20) "Energía Solar"

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

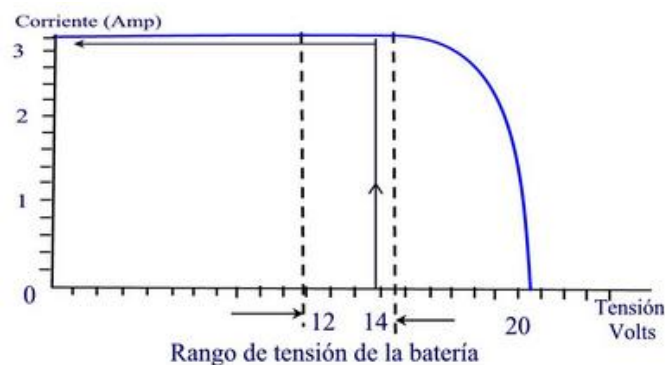
Con el término pila, en castellano, se suele denominar a los generadores de electricidad no recargables. Tanto pila como batería son términos provenientes de los primeros tiempos de la electricidad.

Los postulantes señalan que la batería es un acumulador de energía eléctrica, este acumula corriente continua pero para que este dispositivo se encuentre siempre cargado debe tener conectado un generador o alternador, existe dos tipos de baterías como son: Las húmedas y las secas, estas se diferencia por la vida útil que tiene cada una siendo más eficiente las baterías secas pero a la vez costosas que una almacenador de energía tipo húmeda.

- **Interacción con una batería.**

Una batería tiene una tensión que depende de su estado de carga, antigüedad, temperatura, régimen de carga y descarga, etc. Esta tensión se la impone a todos los elementos que están conectados a ella, incluyendo el módulo fotovoltaico.

**GRÁFICO No 1. 11** CURVA CARACTERÍSTICA DE UNA BATERÍA.



**FUENTE:** Anónimo, Disponible en Web:

[http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/4\\_Curvas\\_Caracteristicas/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/)

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Es incorrecto pensar que un módulo que tiene una tensión máxima de salida de 20 voltios, llevará a una batería de 12 volts a 20 volts y la dañará. Es la batería la que determina el punto de operación del módulo.

La batería varía su rango de tensión entre 12 y 14 volts.

Dado que la salida del módulo fotovoltaico se ve influenciada por las variaciones de radiación y de temperatura a lo largo del día, esto se traducirá en una corriente variable que ingresa a la batería.

Comúnmente encontraremos baterías con capacidades por ejemplo de 110 Ah o en el caso de los teléfonos móviles por ejemplo 2000 mAh.

Se puede conocer si una batería de 110 Ah cargada al 100% es suficiente para mantener una carga encendida durante un periodo de tiempo en horas.

Los Wh que puede suministrar una batería dependen del voltaje que puede proporcionar, normalmente 12 o 24 voltios. Si una batería tiene una capacidad de 110 Ah y un voltaje de 12 voltios la potencia teórica de la batería serían 1320 Wh.

Por ejemplo, si el consumo de energía eléctrica de una vivienda tiene una demanda máxima de 1000Wh en un día, y se instala una batería de 110Ah entonces:

$$P = I \times V \quad \text{Ec: 1.5}$$

$$110 \text{ Ah} \times 12 \text{ V} = 1320 \text{ Wh}$$

$$1320\text{Wh} > 1000\text{Wh}$$

La batería abastece la carga de esa vivienda con un consumo energía de 1000Wh.

### ***c. Inversor.***

En las viviendas comúnmente los aparatos suelen funcionar a 120/220 voltios de corriente alterna y las baterías ofrecen 12 o 24 voltios de corriente continua por lo que para conseguir este voltaje de las baterías se incluye en la instalación un "inversor" con la capacidad suficiente para abastecer las carga instaladas.

### **GRÁFICO No 1. 12 INVERSOR DE CORRIENTE.**



**FUENTE:** Dimensionamiento de Energía Solar. Disponible en Web: <http://aytuto.blogspot.com/2013/05/calcular-paneles-y-baterias-para.html#.U0Ld-KInrhk>; “Instalación de Energía Solar”

**RECOPIADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Según, Aarón Sánchez Juárez

([http://proyectedeenergiarenovable.com/Descargas/Manuales/Curso\\_Interconecction\\_a\\_red/Inversores.pdf](http://proyectedeenergiarenovable.com/Descargas/Manuales/Curso_Interconecction_a_red/Inversores.pdf) )”INVERSORES”, Convierten la corriente continua en corriente alterna.

El propósito de un convertidor de corriente es:

- Regular la tensión de salida
- Proporcionar una onda lo más senoidal posible, sin armónicos

### **CONVERTIDORES CC/CA (INVERSORES).**

- Inversor monofásico
- Inversor Trifásico

### **Definición y clasificación de inversores.**

**Definición:** Dispositivo electrónico que convierte la energía eléctrica CD a CA.

**Clasificación:** Se clasifican básicamente por su potencia nominal de salida, sin embargo existen otros parámetros a considerar como son:

- El tipo de onda: cuadrada, senoidal, senoidal modificada (cuasi - senoidal).
- Voltaje para protecciones.



- Opciones como la de inversor – cargador.

Su trabajo es convertir la corriente directa con voltaje nominal de 12 V (24, 36 ó 48 V) a una onda con frecuencia de 60 Hz (ó 50 Hz) y un voltaje de 120 V (ó 240 V).

Los inversores se fabrican considerando dos etapas convertidores: Una sintetizadora y otra filtradora.

- La etapa sintetizadora produce una onda de impulsos a partir de una tensión DC.
- La etapa filtradora se ocupa de eliminar los armónicos indeseados de la onda de impulsos para tener a la salida de esta etapa una señal totalmente senoidal.

Los postulantes señalan que este equipo servirá de mucho, con este elemento se convertirá la corriente de DC a CA y funcionará como un transformador elevador de 12V a 120 V tomando en cuenta la potencia que este dispositivo entregue para alimentar ciertos equipos eléctricos.

Por poner un ejemplo un inversor de 3000 W suele rondar los 300-400 dólares. Pero aunque el voltaje de salida del inversor sean 120/220 V el cálculo se lo realiza referente a la fuente que suministra la energía es decir, la batería.

Este es el valor de energía que entrega la batería, el inversor tiene que tener la capacidad de la potencia máxima que tenga la vivienda, si la potencia máxima de una vivienda es 1000W el inversor a instalarse tiene que ser de capacidad igual o mayor.

Para saber la capacidad de las baterías que se instalará se tiene que calcular el consumo eléctrico de una vivienda y dimensionar la capacidad del banco de baterías que se adquiera teniendo en cuenta que cuanto mayor es la capacidad de las baterías también aumentará su precio.

Además, se debe tener en cuenta que este cálculo está realizado de forma teórica sobre el 100% de la capacidad de la batería. En la práctica las baterías nunca se

deben descargar al 100% ya que quedarían dañadas, por lo que su capacidad útil será menor de la indicada en sus características.

Como recomendación se debe sobredimensionar un poco la capacidad de las baterías, para en caso de no tener generación eléctrica las baterías abastezcan en ese periodo, hasta que se comience a generar con normalidad.

***d. Regulador o Controlador de Carga de Baterías.***

**GRÁFICO No 1. 13 CONTROLADOR DE CARGA.**



**FUENTE:** PROVIENTO, Disponible en Web: ([http://www.proviento.com.ec/SHS\\_ES.pdf](http://www.proviento.com.ec/SHS_ES.pdf)), "Controlador de Batería".

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Según, CASTILLA, León. "Manual de Instalación". Pag. 28-30. pdf. El regulador es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería. Controla el proceso de carga evitando que, con la batería a plena capacidad, los módulos fotovoltaicos sigan inyectando corriente en la misma. Se lleva a cabo anulando o reduciendo el paso de corriente del campo fotovoltaico.

Controla el proceso de descarga evitando que el estado de carga de la batería alcance un valor demasiado bajo cuando se está consumiendo energía almacenada.

Un controlador lleva a cabo la desconexión de la batería con los circuitos de consumo.

El regulador también es una fuente de información de los parámetros eléctricos de la instalación fotovoltaica. Puede proporcionar datos de la tensión, intensidad, estado de carga de las baterías, etc.

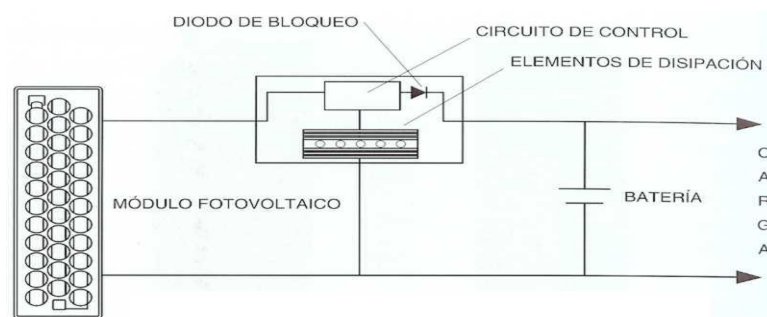
Como medida de seguridad, se ha asegurado la correcta conexión del regulador a los bornes de la batería para evitar la inversión de polaridad.

Existen dos tipos de reguladores en función de cómo estén conectados.

- **En paralelo (o tipo Shunt).**

Suele utilizarse para instalaciones de baja potencia. Controlan sobrecarga cortocircuitando el campo fotovoltaico y disipando la energía en forma de calor. La sobrecarga es controlada interrumpiendo la línea baterías – consumo.

**GRÁFICO No 1. 14** ESQUEMA DE UN CONTROLADOR DE CARGA DE TIPO PARALELO O SHUNT.



**FUENTE:** CASTILLA, León. “Manual de Instalación”. Pag. 28-30. pdf. El regulador es el equipo que controla los procesos de carga y descarga de la batería.

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES

Los reguladores del tipo shunt han de disipar toda la corriente de salida del grupo solar cuando el sistema de baterías alcanza el estado de plena carga. Esto resulta una tarea razonable cuando los sistemas eléctricos solares son pequeños, pero con los grandes sistemas se requieren disipadores térmicos de grandes dimensiones o disipadores menores múltiples, lo que conduce a problemas de fiabilidad y de coste elevado.

- **En serie.**

Este tipo de regulador sirve para controlar la sobrecarga, no disipa energía, simplemente se interrumpe la línea campo fotovoltaico – batería. Por este motivo se utilizan en instalaciones de mayor potencia.

La sobrecarga es controlada interrumpiendo la línea batería – consumo.

La mayoría de controladores vienen con algún tipo de indicador, ya sea un simple LED, una serie de LED.

Los postulantes señalan que este equipo sirve para controlar el nivel de cargar de la batería correctamente evitando sobre voltajes ya que el panel solar genera una potencia máxima (vatios), pero con un voltaje de 20 voltios aproximadamente y una batería necesita máximo 14 voltios para cargarse, al ingresar mayor voltaje se produce un daño en las baterías.

En el caso de un alternador eléctrico el controlador de voltaje viene acoplado internamente para evitar daños en la batería por sobrevoltajes al momento de estar cargando.

Para el dimensionamiento de un controlador de voltaje de una batería eléctrica se debe analizar la carga que abastecerá el generador eléctrico (eólico, solar).

Por ejemplo Si un panel solar fotovoltaico de:

$$P = I \times V \quad \text{Ec: 1.5}$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{140W}{12V}$$

$$I = 11A$$

Se debe colocar un controlador de 11A o mayor.

### **1.5.2. Energía Eólica.**

Existen muchos modelos de aerogeneradores de eje vertical o VAWT (Vertical Axis Wind Turbine) interesantes en el mercado.

La principal ventaja de estos es que pueden ser instalados en las terrazas de los edificios o en lugares urbanos sin peligro por sus bajas emisiones de ruido.

Además no necesitan una gran altura del mástil que los sostiene. Esta ventaja permite situar el centro de gravedad más cerca del suelo y en consecuencia, su construcción resulta menos costosa.

No obstante, todos los diseños existentes, podemos clasificarlos dentro de dos grandes grupos según su principio de funcionamiento. En primer lugar Existen los del tipo Darrieus, que al igual que los aviones utilizan las fuerzas de sustentación para funcionar. También se encuentra los de tipo Savonius, que aprovechan las fuerzas de arrastre o “drag” que usan para propulsarse en las embarcaciones de vela.

En la siguiente tabla No. 1.2 se resume las principales características de cada uno de los grupos de aerogeneradores de eje vertical.

**TABLA No: 1. 2 GRUPOS DE AEROGENERADORES DE EJE VERTICAL.**

|                                  | <b>SAVONIUS</b> | <b>DARRIEUS</b> |
|----------------------------------|-----------------|-----------------|
| Velocidad de trabajo             | Baja            | Alta            |
| Par de Arranque                  | Alto            | Bajo            |
| Necesitan mecanismos de arranque | No              | Si              |
| W/m <sup>2</sup>                 | 0-500 W         | 5-500kW         |
| Emisiones de ruido               | Bajas           | Altas           |
| Vibraciones mecánicas            | Altas           | Bajas           |

**FUENTE:** Los Investigadores.

**RECOPIADO POR:** Los Investigadores.

Los dos modelos de aerogeneradores son completamente diferentes, prácticamente contrarios. Sin embargo, las únicas características comunes entre ambos grupos y principal ventaja de los aerogeneradores de tipo vertical es que no requiere mecanismos de orientación.

Según, ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004.

Aerogeneradores de eje vertical comercializados.

Considerando el hecho que el prototipo a desarrollar en este trabajo es de tipo vertical, se presenta a continuación una rápida visión de estos aerogeneradores.

***a. Consideraciones técnicas.***

Los aerogeneradores de eje vertical tienen la ventaja de adaptarse a cualquier dirección de viento y por ello se les llama panémonos (todos los vientos). No precisan dispositivos de orientación; trabajan por la diferencia de coeficiente de arrastre entre las dos mitades de la sección expuesta al viento. Esta diferencia de resistencia al viento hace que el rotor sea propenso a girar sobre su eje en una dirección específica. A excepción del rotor Darrieus, los aerogeneradores de eje vertical operan con vientos de baja velocidad donde difícilmente superan las 200[RPM]. Se emplean para generar potencias que van de los 200[W] a los 4[MW].

En estricto rigor no necesitan de una torre.

Generalmente se caracterizan por tener altos torques de partida. El Darrieus es la excepción a las características antes mencionadas.

Otra particularidad de estos aerogeneradores es que son mucho más fáciles de reparar pues todos los elementos de transformación de la energía del viento se encuentran a nivel de suelo.

El inconveniente de este tipo de turbinas es que el eje no se ubica a mucha altura y las velocidades del viento disminuyen al llegar al suelo por efecto de la rugosidad del mismo.

La velocidad del viento crece de forma importante con la altura, con lo que estos aerogeneradores han sido desplazados por los de eje horizontal.

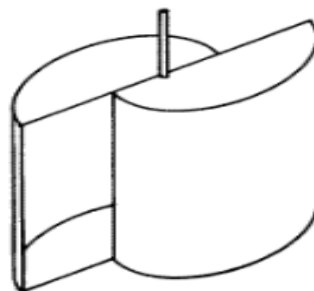
De todas formas, colocar un aerogenerador a más altura mediante una torre implica incurrir en costos adicionales ligados a la seguridad del soporte del aerogenerador.

- ***Savonius.***

El modelo de rotor Savonius es el más simple. Consiste en un cilindro hueco partido por la mitad, en el cual sus dos mitades han sido desplazadas para convertirlas en una S; las partes cóncavas de la S captan el viento, mientras que los reversos presentan una menor resistencia al viento, por lo que girarán en el sentido que menos resistencia ofrezcan.

Este sistema tiene el inconveniente de presentar una sobre presión en el interior de las zonas cóncavas al no poder salir el aire, perjudicando el rendimiento; el sistema queda mejorado separando ambas palas y dejando un hueco entre ambas para que se exista un flujo de aire.

**GRÁFICO No 1. 15 ROTOR SAVONIUS.**

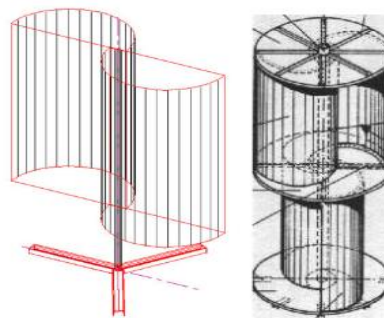


**FUENTE:** ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Debido a la gran resistencia al aire que ofrece este tipo de rotor, solo puede ser utilizado a bajas velocidades. El uso para generación de energía eléctrica precisará de multiplicadores de giro que reducirán el rendimiento. Es por tanto útil para aplicaciones de tipo mecánico, como el bombeo de agua.

**GRÁFICO No 1. 16** DETALLE DEL ROTOR SAVONIUS.



**FUENTE:** ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

- ***Darrieus.***

Patentado por G.J.M. Darrieus en 1931, este modelo es el más popular de los aerogeneradores de eje vertical. Nace por la necesidad de evitar la construcción de hélices sofisticadas como las que se utilizan en los aerogeneradores de eje horizontal. Permite mayores velocidades que las del rotor Savonius, pero no alcanza a las de un rotor de eje horizontal.

Fue redescubierto por los ingenieros en los años setenta. Laboratorios Sandia fue el que exigió más trabajo al respecto, se construyó en 1974 un primer prototipo de 5[m] de diámetro tal como se puede apreciar en la gráfica No. 1.17. Los análisis y estudios pertinentes fueron numerosos y profundos por parte de Sandia.



**GRÁFICO No 1. 17** DARRIEUS DE 5[M] DE DIÁMETRO.



**FUENTE:** ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

El rotor Darrieus consta de unas finas palas con forma de ala de avión simétricas, que están unidas al eje solo por los dos extremos, con una curva especial diseñada para un máximo rendimiento entre las dos uniones del eje. El modelo de curva más utilizado es el denominado Troposkien, aunque también se utiliza la catenaria.

Como los otros aerogeneradores de eje vertical, el Darrieus no necesita de un sistema de orientación. Esta característica de captación omnidireccional le permite ser instalado en cualquier terreno sin necesidad de levantar altas torres, lo cual se traduce en un ahorro sustancial. Al poseer una forma parecida a una cuerda para saltar, hace que los alerones del Darrieus experimenten una fuerte fuerza centrífuga. Al trabajar en pura tensión hace que los alerones sean simples y económicos.

Este rotor presenta el problema que no puede arrancar por sí mismo, teniendo que emplearse un sistema de arranque secundario, aunque una vez en marcha es capaz de mantenerse gracias a la aerodinámica de sus palas. Muchas veces se aplica al diseño de este aerogenerador, rotores Savonius para facilitar su partida. La otra forma es usar un sistema eléctrico para la partida. Usualmente se ocupa un

generador de inducción conectado a la red. Una vez que el Darrieus se encuentra en velocidad de operación empieza a otorgar potencia.

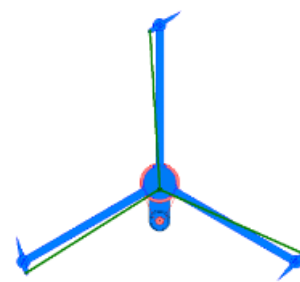
- ***Darrieus tipo H o Giromill.***

La patente de Darrieus también cubrió las turbinas con alerones verticales de eje recto llamadas Giromills. Una variante del Giromill es la Cycloturbine, con alerones orientados mecánicamente con el fin de cambiar el ángulo de ataque tal como se puede apreciar en la gráfica 1.18 y 1.19. Este tipo de turbina fue investigada por el NREL (National Renewable Energy Laboratory).

**GRÁFICO No 1. 18** GIROMILL VISTA FRONTAL.



**GRÁFICO No 1. 19** GIROMILL  
VISTA SUPERIOR.



**FUENTE:** ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004

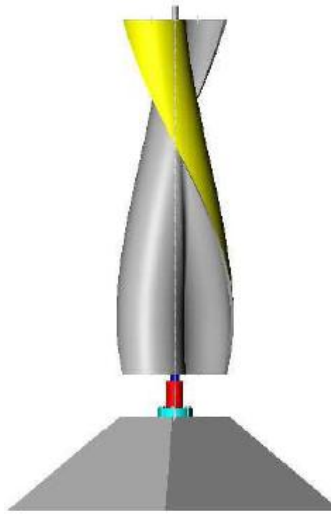
**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

- ***Prototipo Windside (Savonius Helicoidal).***

Este novedoso aerogenerador de eje vertical es un prototipo concebido por la empresa finlandesa Windside.

Con el fin de incrementar otro nivel en el diseño de hélices para aerogeneradores, la empresa finlandesa Windside ha concebido este novedoso modelo que, presenta un giro helicoidal que permite obtener un par de giro más uniforme a lo largo de toda la revolución. Así queda solventado el principal problema presentado por el rotor Savonius en su configuración más básica.

**GRÁFICO No 1. 20** DETALLE DE UNA TURBINA SAVONIUS HELICOIDAL.



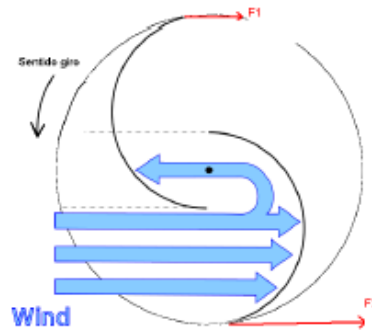
**FUENTE:** PICHARDO CALBET, Vicente. “Cargador de baterías para aerogeneradores Savonius helicoidal”. Director: Hugo Valderrama Blavi. Universitat Rovira I Virgili, Departamen d’ Enginyeria Electrónica Eléctrica i Automática, Junio 2010

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Este tipo de hélice utiliza los principios de funcionamiento del aerogenerador Savonius, con la ventaja de que cada una de las caras realiza un giro de ciento ochenta grados a lo largo del eje, así la fuerza de empuje máxima no se pierde sino que se desplaza por la longitud del eje principal a medida que avanza en su revolución.

En los rotores Savonius la fuerza de empuje máxima solo se produce cuando la parte cóncava se encuentra situada de cara al viento, como se muestra en la gráfica No. 1.21.

**GRÁFICO No 1. 21** SISTEMA DE FUERZAS EN UN ROTOR DEL TIPO SAVONIUS.



**FUENTE:** CALBET, Vicente. “Cargador de baterías para aerogeneradores Savonius helicoidal”. Director: Hugo Valderrama Blavi. Universitat Rovira I Virgili, Departamen d’ Enginyeria Electrónica Eléctrica i Automática, Junio 2010  
**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Este modelo presenta un par de arranque bueno y es capaz de trabajar a velocidades de vientos bajas, es completamente omnidireccional y auto orientable. Se suele fabricar con chapa metálica, materiales derivados del PVC o fibra de vidrio.

Actualmente hay varias empresas que los comercializan, para este diseño en concreto los modelos más parecidos encontrados en la web pertenecen al fabricante “Windside”.

### ***1.6. Medición de la Velocidad del Viento.***

La mejor forma de medir la velocidad del viento en una futura localización de una turbina eólica es situar un equipo de medición, (que en su configuración básica consta de un anemómetro) en el extremo superior de un mástil que tenga la misma altura a la que se va a situar el equipo de generación.

Esto evita la incertidumbre que conlleva el recalcular la velocidad del viento a una altura diferente.

Situación del anemómetro en la parte superior del mástil se minimizan las perturbaciones de las corrientes de aire creadas por el propio mástil. Si el anemómetro está situado en la parte lateral del mástil es fundamental enfocararlo en la dirección de viento dominante para minimizar la sombra del viento sobre la torre.

**GRÁFICO No 1. 22** MEDICIONES DEL VIENTO (ANEMÓMETRO DIGITAL).



**FUENTE:** Los Investigadores.

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

### ***1.7. Velocidad del Viento.***

La velocidad y fuerza del viento es esencial en maquinas eólicas, de esto depende el optimo funcionamiento del equipo.

Según, FERNÁNDEZ Pedro Diez, Energía Eólica, (2009. Pag. 11-14) “velocidad del viento”, El viento viene definido por dos parámetros esenciales que son, su dirección y su velocidad. La dirección del viento y su valoración a lo largo del tiempo conducen a la ejecución de la llamada rosa de los vientos, gráfica No. 1.23.

La velocidad media del viento varía entre 3 y 7 m/seg, según diversas situaciones meteorológicas; es elevada en las costas, más de 6 m/seg, así como en algunos

valles más o menos estrechos. En otras regiones es, en general, de 3 a 4 m/seg, siendo bastante más elevada en las montañas, dependiendo de la altitud y de la topografía.

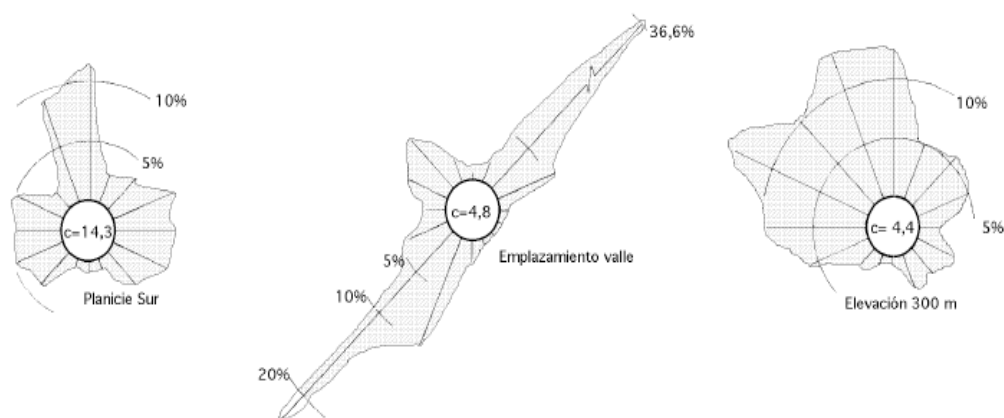
La velocidad media del viento es más débil durante la noche, variando muy poco, aumenta a partir de la salida del Sol y alcanza un máximo entre las 12 y 16 horas solares.

Para realizar las medidas de las velocidades del viento se utilizan los anemómetros; existen muy diversos tipos de estos aparatos, que en un principio se pueden clasificar en anemómetros de rotación y anemómetros de presión.

El anemómetro de rotación más característico es el de Papillon, que es un molino de eje vertical con cazoletas en forma de semiesfera o el de aletas oblicuas de Jules Richard.

El anemómetro de presión se basa en el método del tubo de Pitot.

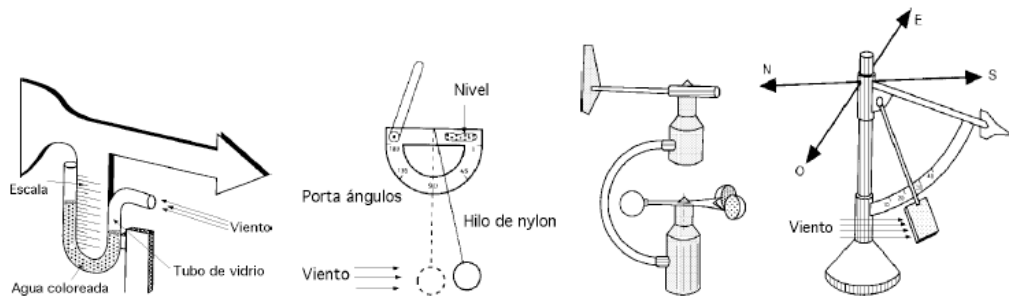
**GRÁFICO No 1. 23** ROSAS DE VIENTO CARACTERÍSTICAS PARA UN FLUJO DOMINANTE DENTRO DE UN VALLE EN UNA PLANICIE SUR Y SUR Y POR ENCIMA DE LAS ELEVACIONES EXTREMAS DE UN VALLE.



**FUENTE:** FERNÁNDEZ Pedro Diez, Energía Eólica, (2009. Pag. 12)  
“Velocidad del viento”

**RECOPIADO POR:** Los Investigadores.

**GRÁFICO No 1. 24 DIVERSOS TIPOS DE ANEMÓMETROS.**



**FUENTE:** FERNÁNDEZ Pedro Diez, Energía Eólica, (2009. Pag. 12)  
“Velocidad del viento”

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

La dirección del viento se comprueba mediante una veleta, mientras que la velocidad se mide con un anemómetro.

Según sea la velocidad se pueden considerar tres tipos de definiciones:

**-Viento instantáneo;** se mide la velocidad del viento en un instante determinado.

**-Viento medio aeronáutico;** se mide la velocidad media durante 2 minutos

**-Viento medio meteorológico;** se mide la velocidad media durante 10 minutos

Hay que distinguir también entre golpe de viento y ráfagas.

La ráfaga es un aumento brutal y de corta duración de la velocidad del viento, propio de tormentas y borrascas.

El *golpe de viento* concierne a la velocidad media del viento, cuando sobrepasa los 34 nudos, 62 km/hora, y es una señal de advertencia, sobre todo para la navegación marítima. Un golpe de viento corresponde a una velocidad media del viento comprendida entre 75 y 88 km/hora.

### ***1.8. Energía Obtenible del Viento.***

Según, PICHARDO Vicente, Cargador de Baterías para aerogenerador Savonius helicoidal (Junio de 2010. Pág. 17-58, pdf); La energía máxima que puede ser extraída de una masa de aire en movimiento viene dada por la siguiente expresión.

$$E = \frac{1}{2} m \times v^2 \quad \text{Ec: 1.6}$$

**DONDE:**

Ec= Energía Cinética.

m= flujo de aire.

v= Velocidad del viento en m/s

Si un área de captación A (o área barrida por la palas) perpendicular a la dirección del viento, el flujo de aire circulante que la atraviesa será:

$$m = \delta \times A \times v \quad \text{Ec: 1.7}$$

**DONDE:**

$\delta$ = DENSIDAD DEL AIRE en kg/m<sup>3</sup>

A= Área de captación en m<sup>2</sup>

Finalmente si sustituimos el valor de (m) de la fórmula 1.7 en la fórmula 1.6 obtenemos:

$$Pm = \frac{1}{2} \delta \times A \times v^3 \quad \text{Ec: 1.8}$$

**DONDE:**

Pm= potencia expresada en (W).

A= Área de barrido de la hélice m<sup>2</sup>

$\delta$  = la densidad del aire 1.25 kg/m<sup>3</sup>

v= Velocidad del viento en m/s



Para calcular todos estos parámetros debemos conocer el área que cubre todo el aerogenerador aplicando la siguiente fórmula.

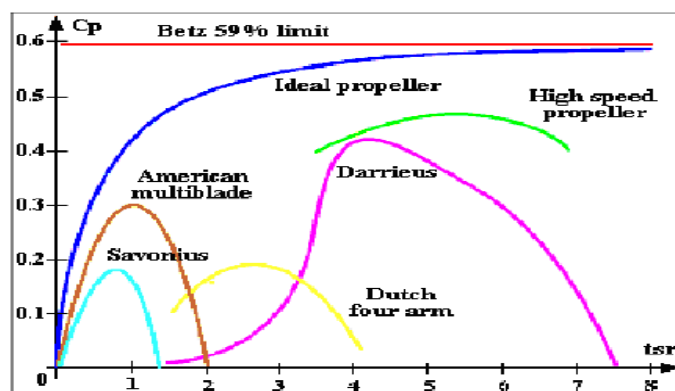
$$\text{Área} = \text{Base} \times \text{Altura} \quad \text{Ec: 1.9}$$

Existe un factor que no está contemplado en la ecuación 1.8 que se mostro anteriormente y que se conoce con el límite de Betz. Este científico Alemán publico en 1926 un libro con el título “Wind Energie” en el cual demostraba que, la máxima energía recuperable con un aerogenerador ideal es igual al 60% de la energía total.

En la gráfica No. 1.25. Se puede observar las curvas características de algunos de los aerogeneradores más conocidos. Es importante comentar que en la gráfica el rendimiento de Betz expresa el coeficiente de potencia en función del TSR<sup>3</sup>, factor importante.

La relación de velocidad específica o periférica TSR, es un término que sustituye al número de revoluciones por minuto “n” del rotor. Este concepto sirve para comparar el funcionamiento de las diferentes máquinas eólicas que existen, por lo que también se le suele denominar velocidad específica.

**GRÁFICO No 1. 25 RENDIMIENTO RESPECTO AL LÍMITE DE BETZ.**



**FUENTE:** PICHARDO Vicente, Cargador de Baterías para aerogenerador savonius helicoidal (Junio de 2010. Pág. 17-58, pdf)

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

No obstante, es importante anotar que los conocimientos de aerodinámica que se tienen en la actualidad aportaran nuevas ideas para conseguir diseños que permitan obtener valores de eficiencia más elevados.

### ***1.9. Energía Híbrida.***

- **Sistemas híbridos de energías renovables.**

Según, CASTILLO MERAZ Raúl M.c. SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Julio de 2013.

Estos sistemas se denominan “híbridos” porque pueden generar energía eléctrica a partir de dos o más fuentes de energía renovable simultáneamente; por ejemplo, fotovoltaica-eólica, fotovoltaica-celdas de combustible, eólica- térmica entre otras.

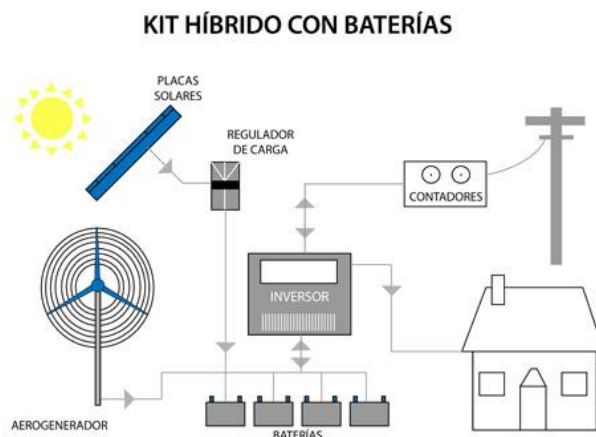
Los sistemas híbridos se componen de varias partes fundamentales como se puede observar en el gráfico No. 1.26.

- Al menos 2 tipos distintos de energía renovable
- Fase de control de carga
- Banco de baterías
- Inversor Corriente Directa-Corriente Alterna (CD/CA).

Los sistemas autónomos basados en generadores fotovoltaicos y eólicos con almacenamiento por medio de baterías son una opción para la alimentación de pequeñas cargas en emplazamientos remotos. Para dimensionar un sistema híbrido es necesario identificar todas las combinaciones posibles que ofrecen un determinado nivel de satisfacción o fiabilidad. De todas las opciones la óptima se obtiene al valorar el costo económico de cada una de las posibilidades para un mismo nivel de fiabilidad.

- **Sistema Híbrido Eólico Fotovoltaico.**

**GRÁFICO No 1. 26** ESQUEMA DEL SISTEMA HÍBRIDO.



**FUENTE:** Energía Híbrida. Disponible en Web.  
[http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3](http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3)

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Los postulantes señalan que la energía híbrida es una de las opciones más confiables, debido a que se unen dos tipos de generación de energías eléctrica renovables limpias teniendo electricidad las 24 horas del día, como puede ser la unión de la energía solar con la energía eólica.

Para realizar un sistema híbrido fotovoltaico - eólico, se utiliza un panel solar y un aerogenerador, estos se encuentran controlados por un regulador de carga, estos se los dimensiona según su potencia, corriente y voltaje, también abarca un banco de baterías, el valor de la fuente almacenadora dependerá de la curva de demanda máxima de la vivienda donde se lo implementara, este valor se lo encuentra en amperios hora (Ah), de ahí se necesita un inversor de 12V de DC a 120V de AC con una determinada potencia.

Debido a la inestabilidad del clima es importante avanzar en la aplicación de sistemas híbridos, con la combinación de ellos es cuando verdaderamente se optimiza el sistema, en algunas ocasiones existe más viento que sol o viceversa, permitiendo la utilización de energía eólica o la solar.

### ***1.10. Dimensionamiento del alternador eléctrico.***

Según, F R Quintela, R C Redondo, M M Redondo (2008, Pag. 5) “Definición de alternador”, Un alternador es una máquina eléctrica, capaz de transformar energía mecánica en energía eléctrica, generando una corriente alterna mediante inducción electromagnética.

**GRÁFICO No 1. 27 ALTERNADOR.**



**FUENTE:** Anónimo, (<http://www.slideshare.net/maria12deagosto/la-batera-y-los-alternadores-5335255>; 2011; 2013, 04, 20; 13:50) “La Batería y los Alternadores”

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Un alternador es un generador de corriente alterna que funciona cambiando constantemente la polaridad para que haya movimiento y genere energía.

Los postulantes señalan que el alternador es una maquina que transforma la energía mecánica en energía eléctrica, este es un equipo que genera electricidad por medio del movimiento del rotor, el mismo que induce a las bobinas del estator y de esta forma se transforma la energía mecánica en eléctrica alterna.

El alternador debe estar diseñado para proporcionar corriente eléctrica necesaria para cargar la batería y al mismo momento suministrar electricidad a una carga consumida.

Para dimensionar un alternador eléctrico se debe verificar la carga que será consumida, por ejemplo si tenemos una carga de:

1000Wh equivalente a 83Ah.

Se necesitaría que el alternador sea de una capacidad  $\geq 83\text{Ah}$ , en el mercado encontraremos de 85Ah que es la ideal para esta carga.

### ***1.11. Curvas de demanda de una viviendas según su categorización.***

Según, EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf, El fundamento básico para determinar una clasificación de consumidores de tipo residencial en el diseño, es el conocimiento de las características constructivas previstamente dichas.

Los lineamientos para certificar el tipo de vivienda proyectada, serán dados por los Ilustres Municipios de acuerdo a las Ordenanzas Municipales.

La categorización de usuario quedará determinada de acuerdo al área de construcción de una vivienda como se observa en la tabla No.1.3.

**TABLA No: 1. 3 ÁREA DE LAS VIVIENDAS POR TIPO.**

| <b>CATEGORÍA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                    |
|------------------|---------------------------------------|
| A                | Área de contrucción superior a 251 m2 |
| B                | Área de contrucción de 151 a 250 m2   |
| C                | Área de contrucción de 61 a 150 m2    |
| D                | Área de contrucción menor a 60 m2     |

**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Sin embargo en la zona rural se puede categorizar tomando el siguiente procedimiento.

Conglomerados y grupos compactos de habitantes, o por otra parte, aquellos cuyo consumo específico sea de 60 a 150kWh, se ubica en categoría C.

Zonas de de cargas dispersas o que a su vez tenga un consumo específico menor a los 60 kWh se asignan a la categoría D.

#### ***1.11.1. Demandas de diseño.***

Una vez definida la categoría de la vivienda según el área de construcción la asociamos con su demanda máxima unitaria para condiciones actuales como se observa en la tabla No. 1.4.

Se asume un factor de potencia igual a 1.

**TABLA No: 1. 4 DEMANDA DE CADA TIPO DE VIVIENDA.**

| <b>CATEGORÍA</b> | <b>DESCRIPCIÓN</b>                                 | <b>DMU (kVA)<br/>ACTUAL</b> | <b>DMU (VA)<br/>ACTUAL</b> | <b>DMU (W)<br/>ACTUAL</b> |
|------------------|--|-----------------------------|----------------------------|---------------------------|
| A                | Área de construcción superior a 251 m <sup>2</sup> | 3,6                         | 3600                       | 3600                      |
| B                | Área de construcción de 151 a 250 m <sup>2</sup>   | 2,4                         | 2400                       | 2400                      |
| C                | Área de construcción de 61 a 150 m <sup>2</sup>    | 1,5                         | 1500                       | 1500                      |
| D                | Área de construcción menor a 60 m <sup>2</sup>     | 0,8                         | 800                        | 800                       |

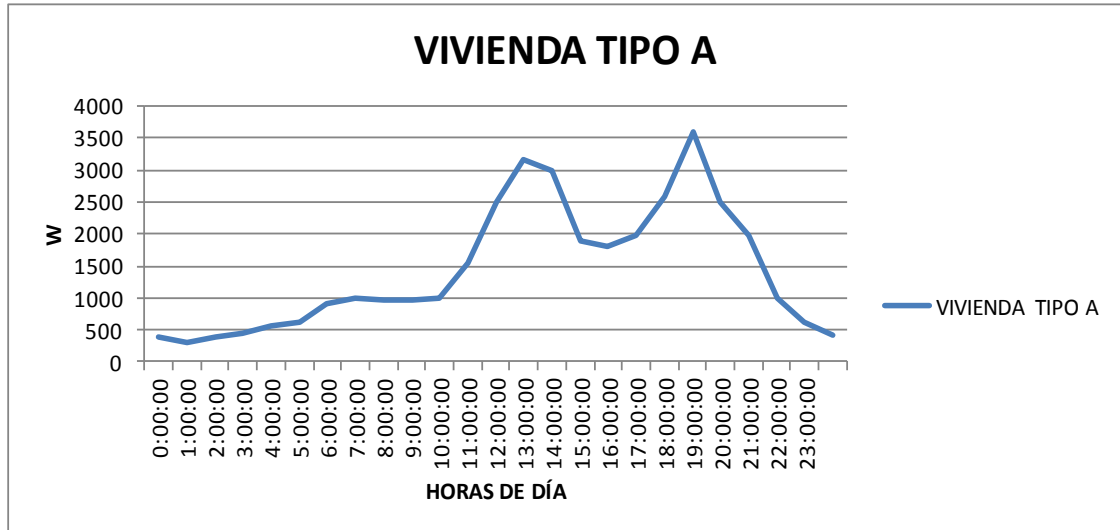
**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

- Curva de la demanda de una vivienda categorizada tipo A.

Este tipo de vivienda tiene una área de construcción superior a 250 m<sup>2</sup>, con una demanda máxima unitaria de 3600 W.

**GRÁFICO No 1. 28** CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO A.



**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

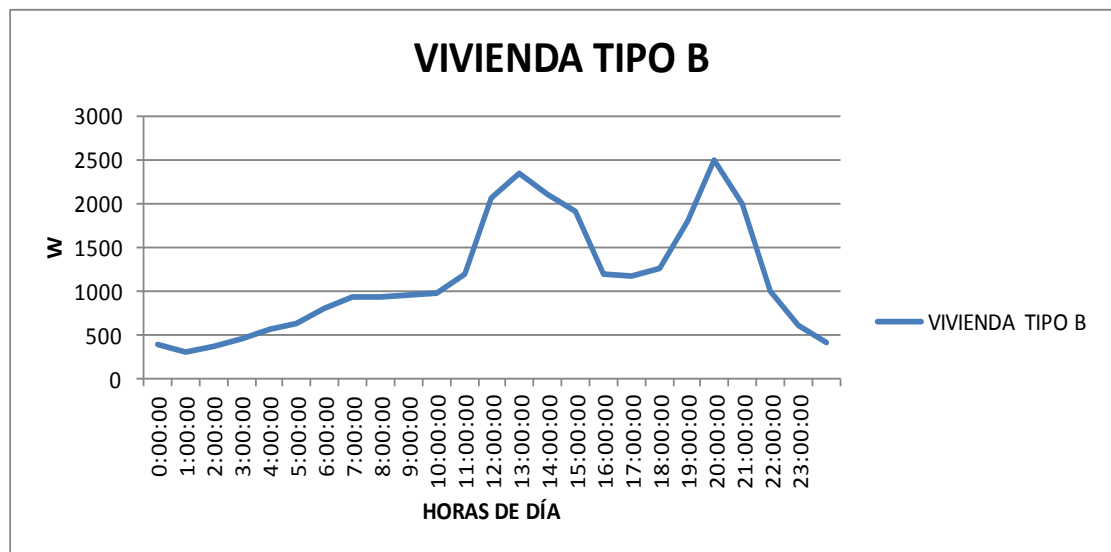
**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

En el gráfico No 1.28 la demanda máxima unitaria de una vivienda tipo A en un intervalo de tiempo entre (12:00 a 13:00) es de 3000 W y entre (18:00 a 20:00) es de 3600 W de consumo, la demanda mínima unitaria es de 500 W.

- Curva de la demanda de una vivienda categorizada tipo B.

Este tipo de vivienda tiene una área de construcción de  $151\text{m}^2$  a  $250\text{m}^2$ , con una demanda máxima unitaria de 2400 W.

**GRÁFICO No 1. 29** CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO B.



**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

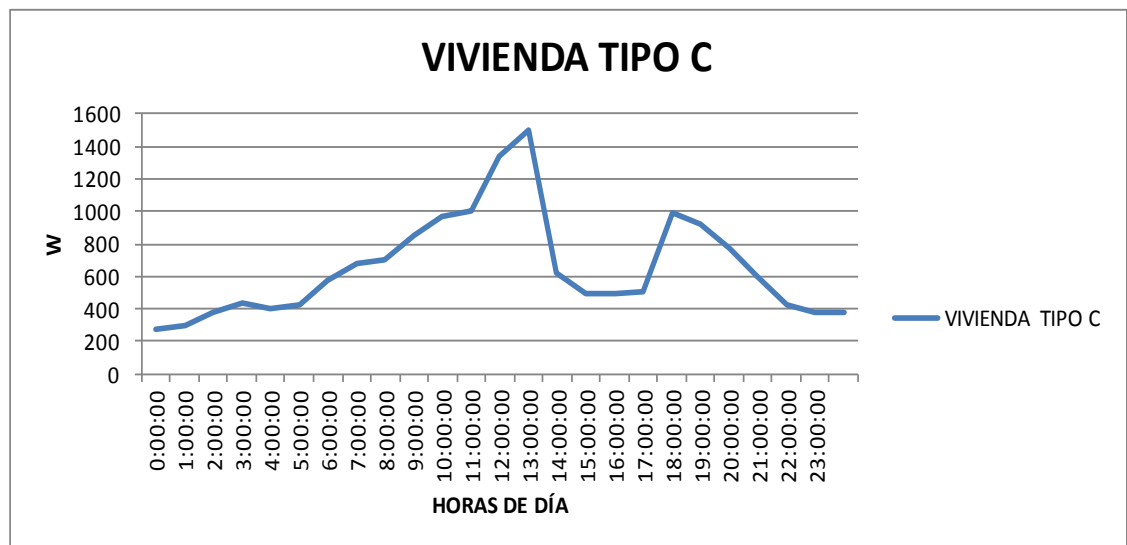
En el gráfico No 1.29 la demanda máxima unitaria de una vivienda tipo B en un intervalo de tiempo entre (12:00 a 14:00) es de 2300 W y entre (19:00 a 20:00) es de 2400 W de consumo, la demanda mínima unitaria es de 450 W.



- Curva de la demanda de una vivienda categorizada tipo C.

Este tipo de vivienda tiene un área de construcción de  $61\text{m}^2$  a  $150\text{m}^2$ , con una demanda máxima unitaria de 1500 W.

**GRÁFICO No 1. 30** CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO C.



**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

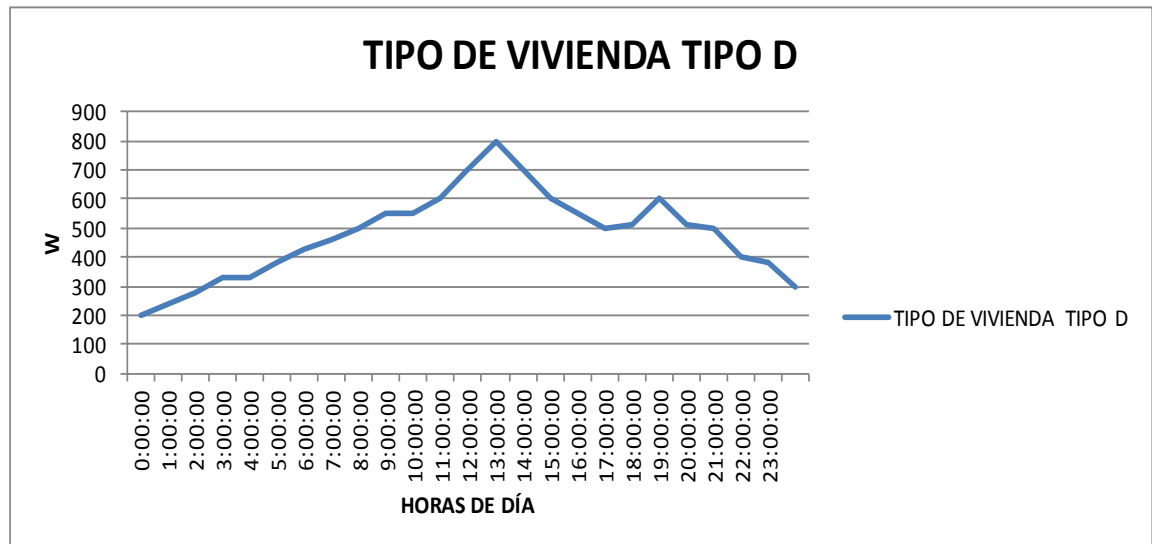
**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

En el gráfico No 1.30 la demanda máxima unitaria de una vivienda tipo C en un intervalo de tiempo entre (12:00 a 13:00) es de 1500 W y entre (18:00 a 19:00) es de 1000 W de consumo, la demanda mínima unitaria es de 250 W.

- Curva de la demanda de una vivienda categorizada tipo D.

Este tipo de vivienda tiene un área de construcción menor a 60 m<sup>2</sup>, con una demanda máxima unitaria de 800 W.

**GRÁFICO No 1. 31** CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA TIPO D.



**FUENTE:** EEASA, Guías De Diseño; Consideraciones Generales. Pág. 5-25.pdf

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

En el gráfico No 1.31 la demanda máxima unitaria de una vivienda tipo D en un intervalo de tiempo entre (12:00 a 13:00) es de 800 W y entre (18:00 a 19:00) es de 600 W de consumo, la demanda mínima unitaria es de 200 W.

### ***1.12. Calidad de Energía.***

Según, El directorio del CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CONELEC considera una REGULACION No. CONELEC – 004/01, de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución. Disponible en Web: [www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc](http://www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc).

Los aspectos de calidad del producto técnico que se controlarán son el nivel de voltaje, las perturbaciones y el factor de potencia, siendo el Distribuidor responsable de efectuar las mediciones correspondientes, el procesamiento de los datos levantados, la determinación de las compensaciones que pudieran corresponder a los consumidores afectados y su pago a los mismos. Toda la información deberá estar a disposición del CONELEC al momento que se le requiera.

En este caso se analiza las variaciones de voltaje admitidas con respecto al valor nominal como se señalan a continuación en la tabla No. 1.5.

**TABLA No: 1. 5 VARIACIONES DE VOLTAJE ACEPTADAS.**

|                              |              |
|------------------------------|--------------|
| <b>ALTO VOLTAJE</b>          | $\pm 5,0 \%$ |
| <b>MEDIO VOLTAJE</b>         | $\pm 8.0 \%$ |
| <b>BAJO VOLTAJE. URBANAS</b> | $\pm 8,0 \%$ |
| <b>BAJO VOLTAJE. RURALES</b> | $\pm 10,0\%$ |

**FUENTE:** [www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc](http://www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc).

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

En el caso de la frecuencia también tiene valores que deben estar dentro de lo establecido desde 59,5Hz a 60,5Hz.

Los postulantes señalan que los valores de voltaje y frecuencia tienen que estar dentro de lo establecido por la ley, estos valores son los tolerantes para hacer funcionar un equipo eléctrico, si existe variaciones de frecuencia, perturbaciones, caída de voltaje, sobrevoltajes pueden ocasionar daños y averías en los equipo alimentados por el prototipo, esto debido a la mala calidad de la energía.

### ***1.13. Tarifa de la Dignidad.***

Según, Anónimo, Disponible en Web: <http://www.burodeanalisis.com/2011/06/13/un-a-nueva-tarifa-electrica-regira-desde-julio/>, El CONELEC reconoce como subsidios a la tarifa de la dignidad, la rebaja para las personas de la tercera edad, y la dotación de servicios comunitarios. Por la tarifa de la dignidad, a través de la cual los clientes que consumen menos de 120 kilovatios en la Sierra y 130 en la Costa pagan \$0,04 por kilovatio/hora, el Estado asume mensualmente \$ 3,5 millones, según datos de un estudio de los subsidios energéticos del Ecuador.

## **CAPITULO II**

### ***2. Análisis e Interpretación de Resultados.***

#### ***2.1. Entorno del Lugar de Investigación.***

##### ***2.1.1. Antecedentes Históricos.***

La falta de redes de distribución de energía eléctrica en sectores rurales muy alejados, impide el normal desenvolvimiento de los habitantes del sector, es necesaria la construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con la utilización de las energías alternativas como la solar y eólica que genere una potencia máxima de 500W.

Para las respectivas pruebas de funcionamiento de este prototipo de generación eléctrica con energías alternativas se escogió un lugar para su aplicación que es la vivienda del señor Vicente Ramos que está ubicada en el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua, una vivienda rural utilizan equipos eléctricos muy básicos como son (focos, Tv, radio, entre otras).

#### ***2.2. Análisis e Interpretación de Resultados.***

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se realizó las respectivas mediciones de velocidad del viento y de radiación solar en el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua, a continuación se interpretará los resultados obtenidos.

### ***2.2.1. Demanda de una vivienda rural.***

Para dimensionar la demanda eléctrica de una vivienda es necesario analizar el comportamiento diario, la potencia máxima que consume esa casa y en qué intervalo de tiempo.

La demanda máxima de una vivienda se la puede categorizar por su área de construcción como se puede observar en el capítulo 1; tablas No: 1.3, 1.4; gráficos No. 1.28, 1.29, 1.30, 1.31; pág. 46-51.

#### ***2.2.1.1. Curva de Demanda de una vivienda rural.***

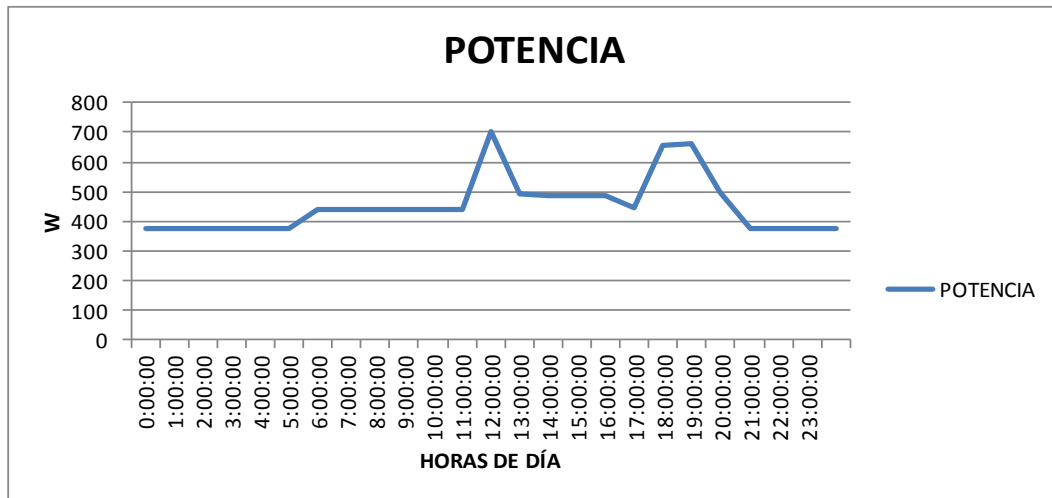
Se conecto a la red interna de una vivienda rural un analizador de red para obtener datos de potencial, voltaje, corriente eléctrica que consume esa casa las 24 horas del día.

El analizador de red entregó los resultados de las mediciones de demanda diaria de la vivienda estudiada en el programa Microsoft Office Excel, las cuales se interpreta en forma gráfica de forma de línea 2D.

Los datos recopilados por el analizador de red, el día de consumo eléctrico más críticos fue el día miércoles 23/04/2014 como se observa en el Anexo No: 1. Datos de un día en una vivienda rural (Potencia, Energía, Corriente, Voltaje, Frecuencia).

A continuación se observa en el gráfico No. 2.1 la curva característica del comportamiento de la demanda diaria de una vivienda rural.

**GRÁFICO No 2.1** CURVA DE DEMANDA DIARIA DE UNA VIVIENDA RURAL.



**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

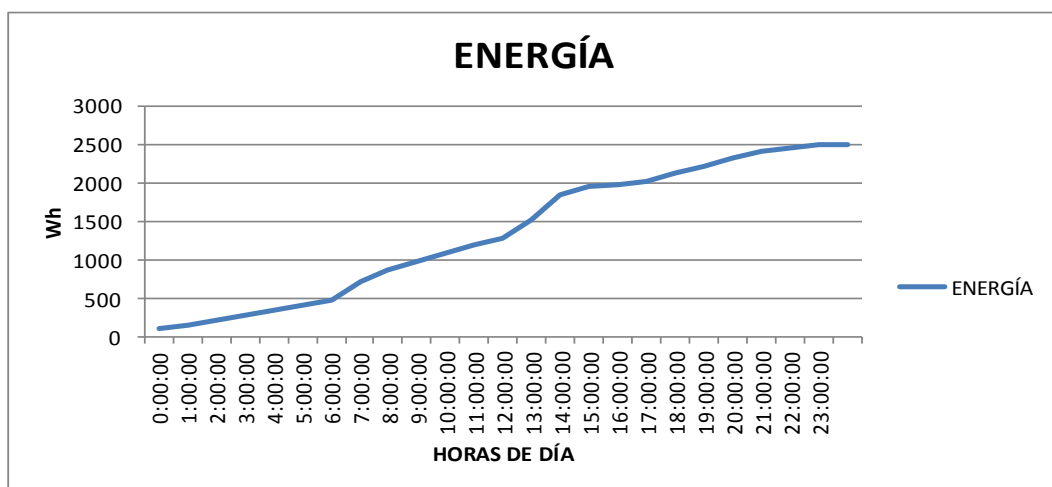
**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Al realizar el análisis del comportamiento de la demanda diaria de una vivienda rural, se comprobó que la hora pico es de 12h00pm a 12h30pm con una demanda de potencia máxima de 700W aproximadamente.

De ahí vuelven a tener un gran consumo de 18h30pm a 19h00pm con una demanda de potencia máxima de 650W aproximadamente.

En las demás horas del día varía el consumo de potencia entre 100W a 400W, obteniendo un bajo consumo.

**GRÁFICO No 2.2** CURVA DE ENERGÍA.

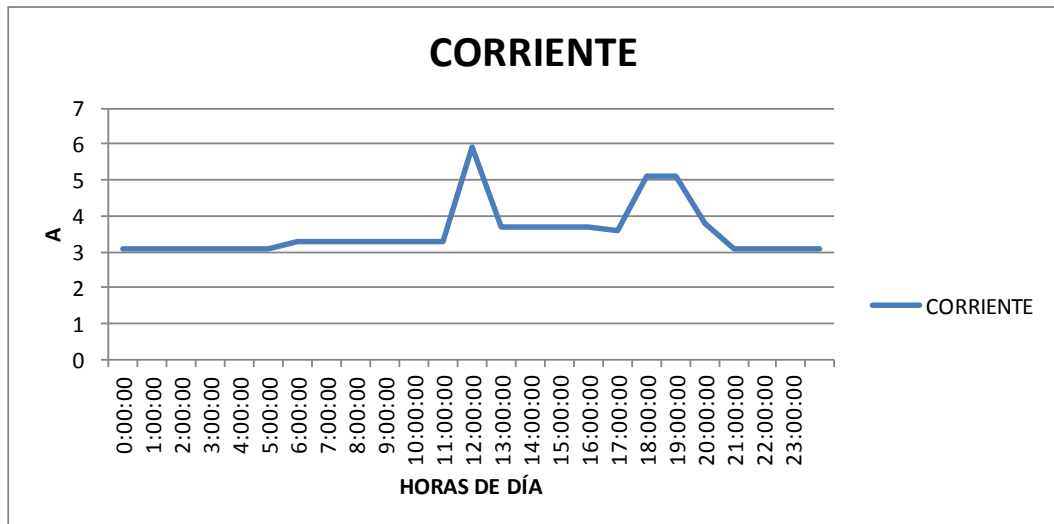


**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

El consumo de energía diaria máxima en esta vivienda 1300Wh a las 12h20pm y en la tarde es de 2300Wh a las 18h30pm.

**GRÁFICO No 2. 3 CURVA DE CORRIENTE.**

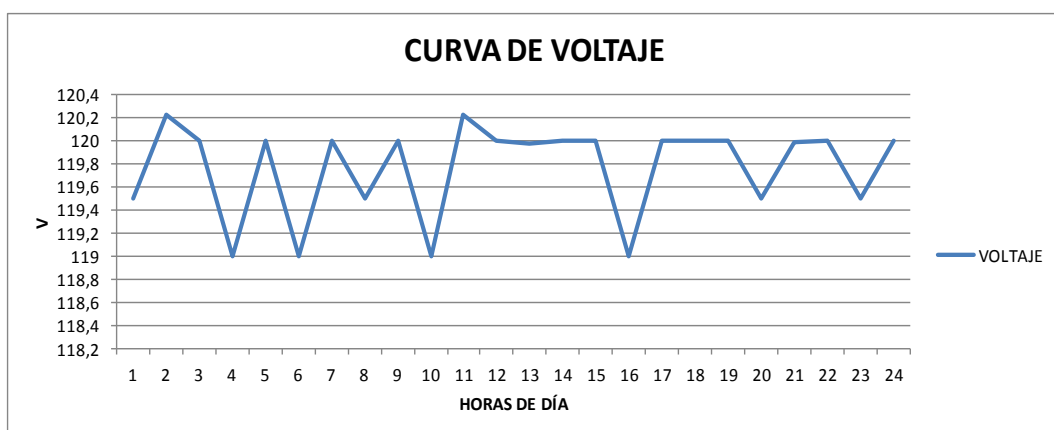


**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

El consumo máximo diario de corriente en esta vivienda es de 6A a las 12h20pm, y en la tarde el consumo de corriente máxima es de 5A a las 18h30pm.

**GRÁFICO No 2. 4 CURVA DE VOLTAJE.**



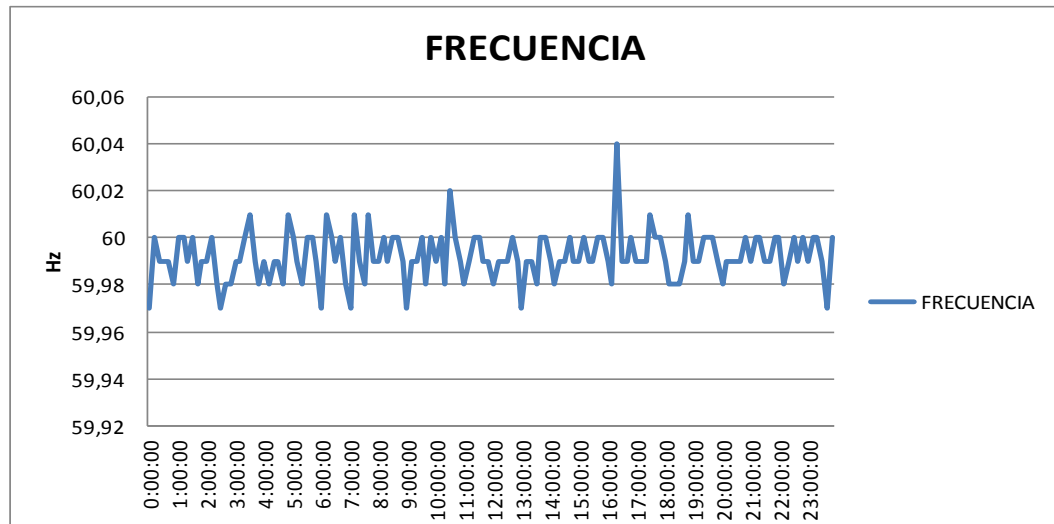
**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.



El voltaje de entrada es de 120V, en ciertas ocasiones varia el voltaje entre 119V a 120.2V, las cuales están dentro de lo establecido por la regulación del CONELEC de calidad de energía que se encuentra en el Capítulo 1; pág. 51.

**GRÁFICO No 2. 5 CURVA DE FRECUENCIA.**



**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

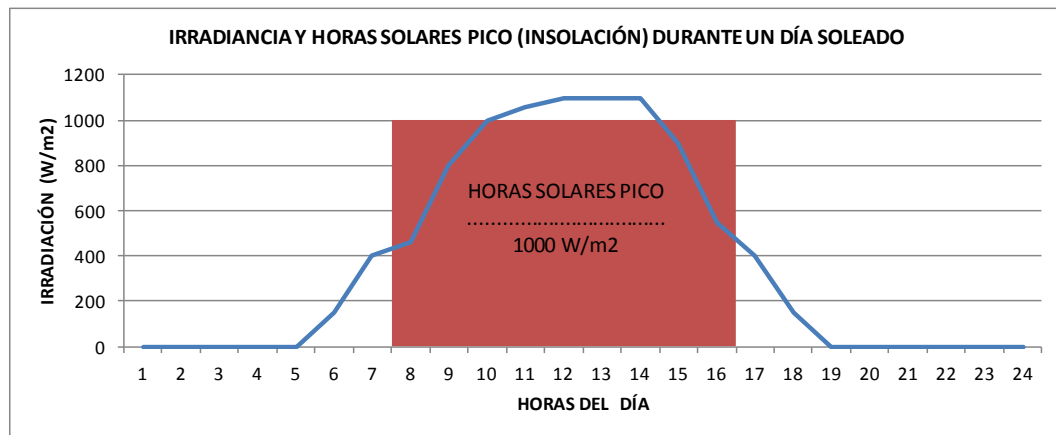
**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

La frecuencia oscila entre los 59,5Hz a 60,5Hz. Las cuales están correctas en un sistema eléctrico.

Estas son las curvas del comportamiento diario de una vivienda rural, las curvas presentadas son tomadas de un día exigente donde se aprecia cómo se desempeña la demanda diaria.

En cualquier parte del Ecuador la irradiación y horas solar pico (insolación), en un día soleado se lo puede apreciar en la siguiente gráfica No. 2.6 con la potencia que tendrá el panel solar implementado.

**GRÁFICO No 2. 6** IRRADIACIÓN Y HORAS SOLARES PICO.

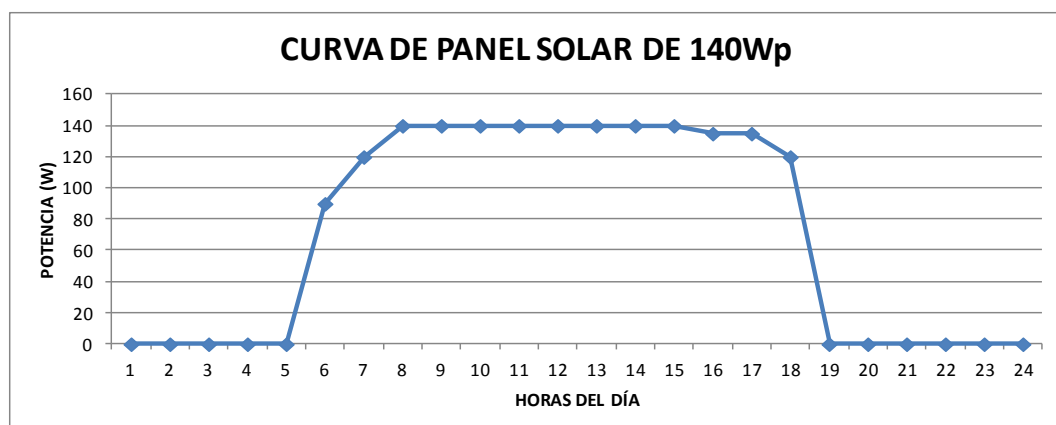


**FUENTE:** [http://solar.nmsu.edu/wp\\_guide/energia.html](http://solar.nmsu.edu/wp_guide/energia.html)

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Esta curva representa la funcionalidad de un panel solar con una generación máxima, a tener una irradiación directa estándar de  $1000 \text{ W/m}^2$ , comúnmente la insolación directa existe de 10h00am a 16h00pm en el día.

**GRÁFICO No 2. 7** CURVA DE UN PANEL SOLAR DE 140Wp EN EL DÍA.



**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

**RECOPILADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

En este caso el panel solar fotovoltaico como es de  $1000\text{W}/\text{m}^2$  generando una potencia máxima de  $140\text{Wp}$ .

### **Análisis:**

Un panel de  $140\text{Wp}$  instalada en una vivienda que tiene una demanda diaria de  $700\text{Wp}$  no abastecería, por lo tanto ahí se realiza el acoplamiento con un aerogenerador.

El analizador utilizado se lo observa en la siguiente gráfica No. 2.8.

**GRÁFICO No 2. 8** ANALIZADOR DE RED ELÉCTRICA.



**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Los datos recopilados por el analizador de red fueron del 21 al 27 de abril de 2014.

Se recopiló valores de (Voltaje, Corriente, Potencia, Energía, Frecuencia) las 24 horas del día miércoles 23/04/2014, ya que es el día de mayor consumo. Para mayor claridad se puede observar en el anexo No. 1; TABLA No: 2. 1 DATOS DEL CONSUMO ELÉCTRICO DE UNA VIVIENDA EN UN DIA.

### **2.2.2. Dimensionamiento del Panel solar, Regulador, Inversor y Batería.**

Para alimentar los equipos eléctricos que existen en una casa es necesario conocer la carga instalada y la demanda diaria, Cada aparato consume una cantidad de energía distinta y se mide en VATIOS (Wh).

Los vatios hora serían la energía que consume una vivienda en un determinado tiempo, por ejemplo en 1 hora.

Ec: 1.3

$$\text{Energía (Wh)} = \text{Potencia(W)} \times \text{Tiempo(h)}$$

Consumo de la vivienda en potencia máxima es de 700 W x 1 hora = 700 Wh

Hay que tomar en cuenta que ese es el consumo de potencia activa máxima, que es de 12h00pm hasta las 12h30pm, en un periodo de 30 minutos.

#### **b. Baterías**

La demanda máxima de una vivienda rural es de 700W, las baterías no miden en Wh sino en Ah.

Si los 700W permanecen encendido todo el día consumiría:

$$700 \text{ W} \times 24 \text{ horas} = 16800 \text{ Wh}$$

Los Wh que puede suministrar una batería dependen del voltaje que puede proporcionar la batería, normalmente 12 o 24 voltios. Si una batería tiene una capacidad de 110 Ah y un voltaje de 12 voltios la potencia teórica que podríamos sacar de la batería serían 1320 Wh.

El cálculo que hay que realizar es el siguiente:

$$P = I \times V \quad \text{Ec: 1.5}$$

$$P = 110 \text{ Ah} \times 12 \text{ V}$$

$$P = 1320 \text{ Wh}$$

Una batería de 110Ah no es suficiente para abastecer una vivienda con potencia pico de 700W en el día (durante las 24 horas), este cálculo sirve solo cuando no existe ningún tipo de generación eléctrica, mediante este prototipo híbrido de generación eléctrica con una potencia de 560W, para abastecer los 700W que

consume la vivienda en estudio se necesita una potencia adicional de 140W para las horas pico y que es de 12h00pm a 13h00pm y 18h00pm a 19h00pm comúnmente.

$$140W \times 1 \text{ horas} = 140 \text{ Wh}$$

Ec: 1.3

### **Análisis:**

Hay que tomar en cuenta que el lapso de tiempo de la demanda pico en la vivienda en estudio es de 1 hora, por lo tanto es necesario 140Wh almacenados en el banco de baterías, la batería implementada es de 100Ah que nos entrega una potencia de 1200W en 1 hora, siendo suficiente para abastecer un consumo pico de 140W durante 9 horas aproximadamente.

En las casas los aparatos suelen funcionar a 120/220 voltios de corriente alterna y las baterías ofrecen 12 voltios de corriente continua por lo que para conseguir este voltaje de las baterías se tiene que incluir en la instalación un "inversor" con la capacidad suficiente para suministrar la potencia máxima.

Un inversor de 3000 W suele rondar los 300-400 dólares. Pero aunque el voltaje de salida del inversor sean 120/220 V el cálculo se lo realizó sobre la fuente que suministra la energía, es decir, la batería.

Para conocer la capacidad de las baterías se calcular el consumo eléctrico de la vivienda de acuerdo a eso se dimensiona la capacidad de las baterías teniendo en cuenta que cuanto mayor capacidad sean también aumentará su precio.

El cálculo está realizado de forma teórica sobre el 100% de la capacidad de la batería. En la práctica las baterías nunca se deben descargar al 100% ya que quedarían dañadas, por lo que su capacidad útil será menor de la indicada en sus características.

### ***c. Paneles Solares.***

En el caso de los paneles solares su capacidad de producción de energía eléctrica es en Wh/día y otros en Wp (vatios pico).

En el caso de que el panel a instalarse tuviera una capacidad de producción de energía eléctrica de, por ejemplo, 140 Wp o W (vatios pico) se tiene que realizar el siguiente cálculo:

$$140 \text{ Wp} \times 4\text{HSP} = 560 \text{ Wh/día}$$

Ec: 1.4

Siendo 4 HSP la medida estándar que se utiliza para definir la radiación solar media que podría recibir el panel solar durante un día soleado.

Para satisfacer la demanda de una vivienda rural el panel solar no abastece y se procede a acoplarle un aerogenerador convirtiéndola en un sistema eólico-solar (hibrido) ayudando a cubrir la carga faltante.

***d. Regulador o Controlador de carga.***

En el caso del prototipo construido se utilizó un regulador de carga Morningstar SHS-10, con una capacidad de 10 Amperios, puede abastecer hasta 170W, el panel implementado es de 140W entonces los parámetros adecuados para utilizar este tipo de reguladores son:

- **Punto de regulación:** 14,3V
- **Desconexión por bajo voltaje:** 11,5V
- **Reconexión por bajo voltaje:** 12,6V
- **Tipo de carga:** PWM serie (modulación de ancho de pulso), 4 etapas.
- **Protección electrónica:** cortocircuito y exceso de corriente-sistema de carga solar, en la carga, polaridad inversa-en sistema de carga solar en la carga y en la batería, corriente inversa por la noche, alto voltaje en la carga, rayos en sistemas solares, en la carga y en la batería.
- **Indicaciones de los LED:**

Verde en carga, niveles de batería.

Verde Amarillo y Rojo:

Rojo: advertencia de bajo voltaje y desconexión, los 3 leds destellando indica de errores.

Para tamaño de cables de hasta  $4\text{mm}^2$ .

En el caso del aerogenerador el regulador viene internamente en el alternador controlando los niveles de voltaje de salida, de sobrevoltajes, bajo voltaje, cargándole a la batería correctamente, la capacidad del alternador es de 40A, por lo tanto el regulador es de 40A.

#### ***e. Conclusión.***

A modo de resumen estos serán los consumos en Wh de los equipos eléctricos de una vivienda durante un día normal:

Ec: 1.3

- 4 bombillas bajo consumo (2 horas cada una):  $4 \times 60 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 480 \text{ Wh}$
- 1 TV:  $60 \text{ W} \times 2 \text{ h} = 120 \text{ Wh}$
- 1 Radio:  $25\text{W} \times 8 \text{ h} = 200 \text{ Wh}$
- 1 Refrigeradora:  $350\text{W} \times 8\text{h} = 2800\text{Wh}$

En total sería un consumo aproximado de 3600 Wh/día.

#### ***2.2.3. Pruebas de la Radiación Solar.***

De igual manera se recopiló mediciones de la radiación solar, para conocer el nivel de generación que puede entregar el sol donde se implemente un panel solar fotovoltaico.

##### ***2.2.3.1. Estudio solar de la zona.***

Para los estudios solares en esta zona se toma como referencia el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el mismo consta de atlas mensuales del año 2008.

**TABLA No: 2. 2** INSOLACIÓN GLOBAL PARA LA ZONA SIERRA CENTRAL DEL ECUADOR.

| <b>INSOLACIÓN GLOBAL</b>               |             |
|--|-------------|
| <b>AÑO 2008 [Wh/m<sup>2</sup> día]</b> |             |
| ENERO                                  | 4350        |
| FEBRERO                                | 4200        |
| MARZO                                  | 4200        |
| ABRIL                                  | 3900        |
| MAYO                                   | 3750        |
| JUNIO                                  | 3750        |
| JULIO                                  | 3900        |
| AGOSTO                                 | 3900        |
| SEPTIEMBRE                             | 4650        |
| OCTUBRE                                | 4650        |
| NOVIEMBRE                              | 4800        |
| DICIEMBRE                              | 4650        |
| <b>PROMEDIO</b>                        | <b>4225</b> |

**FUENTE:** Atlas Solar del Ecuador con fines de Generación Eléctrica (www.conelec.gob.ec; 2008).

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

La insolación solar que existe en este sector en promedio es de 4225Wh/día.

Para tener un valor más exacto de la radiación solar con la que trabajaría el panel se le divide con la heliofanía que es de 4 horas.

$$POTENCIA SOLAR DIARIA (PSD) = \frac{Insolación\ Global\ (Wh/m^2)}{Heliofanía\ (h/día)}$$

Ec: 1.2



$$PSD = \frac{4225Wh/m^2}{4h}$$

$$PSD = 1056 W/m^2$$

Los valores estándar de prueba de un panel solar funcionan a los 1000W/m<sup>2</sup>, el sector está apto para utilizarse un panel solar ya que allí existe 1056 W/m<sup>2</sup> siendo mayor a 1000W/m<sup>2</sup>.

### 2.2.3.2. Datos de Heliofanía de la estación Querochaca.

Los datos recopilados desde el año 2004 hasta el 2008, expresando en número de horas de brillo solar al mes en todo el año como se puede observar en la tabla No. 2.3.

**TABLA No: 2. 3** ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA.

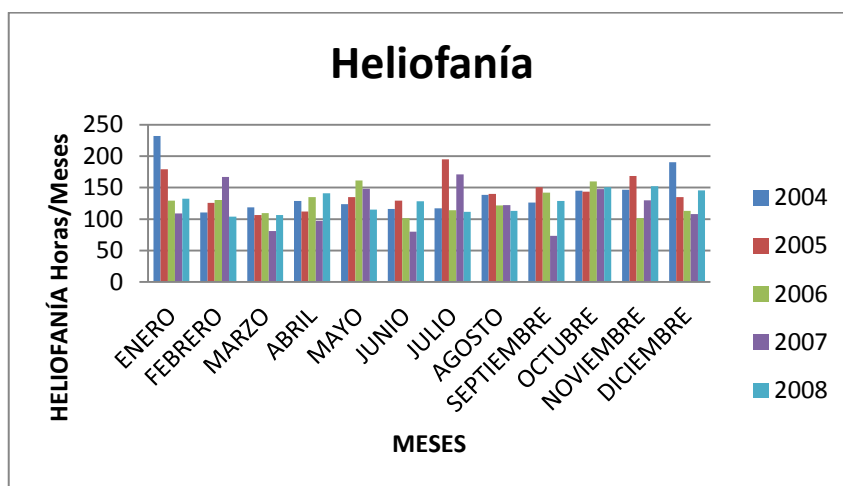
| ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEROCHACA (UTA) |        |        |        |        |       |
|---|--------|--------|--------|--------|-------|
| HELIOFANÍA (Horas/Meses)                |        |        |        |        |       |
|   | AÑO    |        |        |        |       |
| MES                                     | 2004   | 2005   | 2006   | 2007   | 2008  |
| ENERO                                   | 232    | 179    | 129,5  | 109,2  | 132,2 |
| FEBRERO                                 | 110,7  | 125,9  | 130,5  | 167,1  | 103,8 |
| MARZO                                   | 118,6  | 106,5  | 109,3  | 80,8   | 106,7 |
| ABRIL                                   | 128,7  | 112,3  | 134,7  | 97,2   | 141   |
| MAYO                                    | 124    | 134,9  | 161,5  | 148,2  | 115,1 |
| JUNIO                                   | 116,2  | 129,3  | 101,2  | 80,2   | 128,5 |
| JULIO                                   | 117,1  | 194,8  | 114,1  | 171,1  | 111,6 |
| AGOSTO                                  | 138,6  | 140,2  | 121,6  | 122,3  | 112,9 |
| SEPTIEMBRE                              | 126,2  | 150,5  | 142    | 73,6   | 128,9 |
| OCTUBRE                                 | 144,9  | 143,8  | 159,7  | 147,5  | 150,5 |
| NOVIEMBRE                               | 146,4  | 168,4  | 101,4  | 129,7  | 152,1 |
| DICIEMBRE                               | 190,5  | 134,9  | 113,2  | 107,8  | 145,7 |
| <b>VALOR ANUAL</b>                      | 1693,9 | 1720,5 | 1518,7 | 1434,7 | 1529  |

**FUENTE:** INAMHI

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Estos son los valores de las horas de radiación directa del sol en la tierra en todo el mes, los valores de Heliofanía promedio es de 135 horas/mes, estos datos se los recopiló de la estación meteorológica de Querochaca (UTA) como se puede observar en el gráfico No. 2.9.

**GRÁFICO No 2. 9** ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/MESES.



**FUENTE:** INAMHI

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Para un mejor análisis se puede observar en la tabla No. 2.5 los valores de la heliofanía, se las representa en horas/día.

**TABLA No: 2. 4** ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/DÍA.

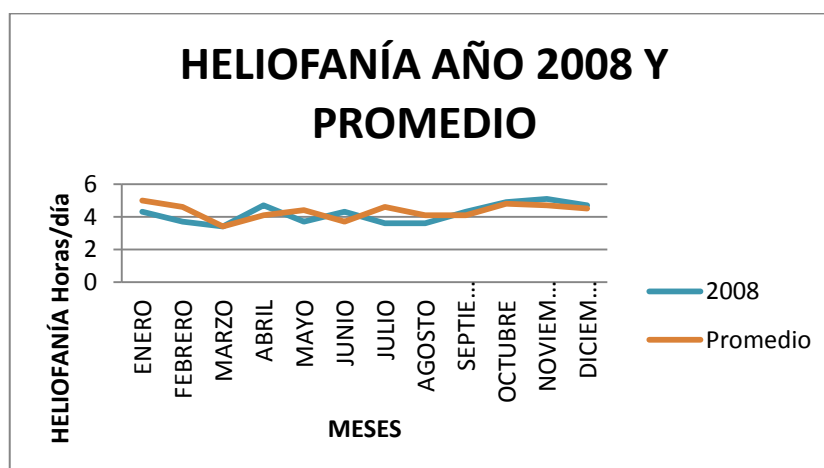
| ESTACIÓN METEOROLÓGICA QUEROCHACA (UTA) |      |      |      |      |      |          |
|---|------|------|------|------|------|----------|
| HELIOFANÍA (Horas/Días)                 |      |      |      |      |      |          |
|   | AÑO  |      |      |      |      |          |
| MES                                     | 2004 | 2005 | 2006 | 2007 | 2008 | PROMEDIO |
| ENERO                                   | 7,5  | 5,8  | 4,2  | 3,5  | 4,3  | 5        |
| FEBRERO                                 | 4    | 4,5  | 4,7  | 6    | 3,7  | 4,6      |
| MARZO                                   | 3,8  | 3,4  | 3,5  | 2,6  | 3,4  | 3,4      |
| ABRIL                                   | 4,3  | 3,7  | 4,5  | 3,2  | 4,7  | 4,1      |
| MAYO                                    | 4    | 4,4  | 5,2  | 4,8  | 3,7  | 4,4      |
| JUNIO                                   | 3,9  | 4,3  | 3,4  | 2,7  | 4,3  | 3,7      |
| JULIO                                   | 3,8  | 6,3  | 3,7  | 5,5  | 3,6  | 4,6      |
| AGOSTO                                  | 4,5  | 4,5  | 3,9  | 3,9  | 3,6  | 4,1      |
| SEPTIEMBRE                              | 4,2  | 5    | 4,7  | 2,5  | 4,3  | 4,1      |
| OCTUBRE                                 | 4,7  | 4,6  | 5,2  | 4,8  | 4,9  | 4,8      |
| NOVIEMBRE                               | 4,9  | 5,6  | 3,4  | 4,3  | 5,1  | 4,7      |
| DICIEMBRE                               | 6,1  | 4,4  | 3,7  | 3,5  | 4,7  | 4,5      |

**FUENTE:** INAMHI

**RECOPILADO POR:** Los Investigadores.

Los valores de heliofanía promedio es de 4,3 horas/día, estos datos se recopiló de la estación meteorológica de Querochaca (UTA).

**GRÁFICO No 2. 10** ESTADÍSTICA MENSUAL Y ANUAL DE HELIOFANÍA DE LA ESTACIÓN DE QUEROCHACA, EXPRESADA EN HORAS/DÍA.



**FUENTE:** INAMHI

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

### Análisis:

Para el siguiente análisis se comprueba los datos INAMHI con el del CONELEC, de los cuales se deduce:

- Irradiación global promedio del año 2008 es igual a 4225 Wh/m<sup>2</sup>/día.
- Heliofanía desde el año 2004 hasta 2008, cuyo promedio es de 4,3 (horas/día).

El concepto de horas pico solar HPS (h), es definido como las hora luz solar por días equivalente, en base a una irradiación I (KW/m<sup>2</sup>) constante de 1 KW/m<sup>2</sup>.

Los datos de irradiación solar se dividen para la constante y obtenemos las HPS.

$$HPS (h) = \frac{\text{Insolación Global } \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{\text{Potencia condiciones estandar del módulo } \left(\frac{W}{m^2}\right)} \quad \text{Ec: 1.1}$$

$$HPS (h) = \frac{4225 \left(\frac{Wh}{m^2}\right)}{1000 \left(\frac{W}{m^2}\right)}$$

$$HPS (h) = 4,23 h$$

El valor de HPS=4,23 (h), resultado de procesar datos del CONELEC, que se asemeja a los 4,3 (h), del INAMHI, para los próximos cálculos se toma el valor de HPS=4 horas.

#### 2.2.4. Datos técnicos y características del panel solar.

- **PANEL SOLAR FOTOVOLTAICO UTILIZADO SW 140 poly R6A**

Se utilizará un panel solar fotovoltaico de 140W debido a que en esta vivienda existe una demanda máxima diaria de 700W, el máximo consumo es a las

12h00pm, es factible aprovechar el recurso natural (sol), a esta hora la radiación esta directamente hacia la tierra siendo el panel fotovoltaico utilizado en un 100%.

Para abastecer toda esta potencia el proyecto se encamina en acoplar un aerogenerador de palas helicoidales con un panel solar fotovoltaico, convirtiéndose en un sistema híbrido, cubriendo la totalidad de la demanda consumida.

- COMPORTAMIENTO BAJO CONDICIONES ESTÁNDAR DE UN PANEL SOLAR.

**TABLA No: 2. 5** COMPORTAMIENTO ESTANDAR DEL UN PANEL SOLAR UTILIZADO.

|  |                  | <b>SW 140</b> |
|--|------------------|---------------|
| <b>Potencia en el punto de máx. potencia</b> | $P_{\text{máx}}$ | 140 Wp        |
| <b>Tensión en vacío</b>                      | $U_{\infty}$     | 22,1 V        |
| <b>Tensión a potencia máxima</b>             | $U_{\text{mpp}}$ | 18,0 V        |
| <b>Corriente de cortocircuito</b>            | $I_{\text{sc}}$  | 8,35 A        |
| <b>Corriente a potencia máxima</b>           | $I_{\text{mpp}}$ | 7,85 A        |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

- Comportamiento del panel fotovoltaico a 800 W/m<sup>2</sup>.

**TABLA No: 2. 6 COMPORTAMIENTO A 800 W/m<sup>2</sup>.**

|  |                   | <b>SW 140</b> |
|--|-------------------|---------------|
| <b>Potencia en el punto de máx. potencia</b> | $P_{m\acute{a}x}$ | 102,1 Wp      |
| <b>Tensión en vacío</b>                      | $U_{\infty}$      | 20,0 V        |
| <b>Tensión a potencia máxima</b>             | $U_{mpp}$         | 16,3 V        |
| <b>Corriente de cortocircuito</b>            | $I_{sc}$          | 6,73 A        |
| <b>Corriente a potencia máxima</b>           | $I_{mpp}$         | 6,28 A        |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

La ligera reducción de la eficiencia en el comportamiento con carga parcial a 25°C: A 800 W/m<sup>2</sup> se alcanza el 95 % (+/- 2 %) de la eficiencia bajo condiciones estándar de prueba (1000 W/m<sup>2</sup>).

Las medidas constructivas y peso del panel solar instalado son las siguientes:

**TABLA No: 2. 7 MEDIDAS DE UN PANEL SOLAR DE 140W.**

| <b>MATERIALES EMPLEADOS</b> |          |
|-----------------------------|----------|
| Longitud                    | 1508 mm  |
| Ancho                       | 680 mm   |
| Altura                      | 34 mm    |
| Marco                       | Aluminio |
| Peso                        | 11,8 Kg  |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

**TABLA No: 2. 8 MATERIALES EMPLEADOS.**

| <b>MATERIALES EMPLEADOS</b> |                             |
|-----------------------------|-----------------------------|
| Células por módulo          | 36                          |
| Tipo de célula              | Policristalino              |
| Medidas de la célula        | 156 mm x 156 mm             |
| Parte anterior              | Vidrio reforzado (EN 12150) |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

**TABLA No: 2. 9 PARAMETROS TERMICOS.**

| <b>PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS</b> |           |
|--|-----------|
| NOCT                                       | 46°       |
| $TCI_{SC}$                                 | 0,081 %/K |
| $TCU_{\infty}$                             | -0,37 %/K |
| $TCP_{mpp}$                                | 0,45 %/K  |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

**TABLA No: 2. 10 OTRA INFORMACIÓN.**

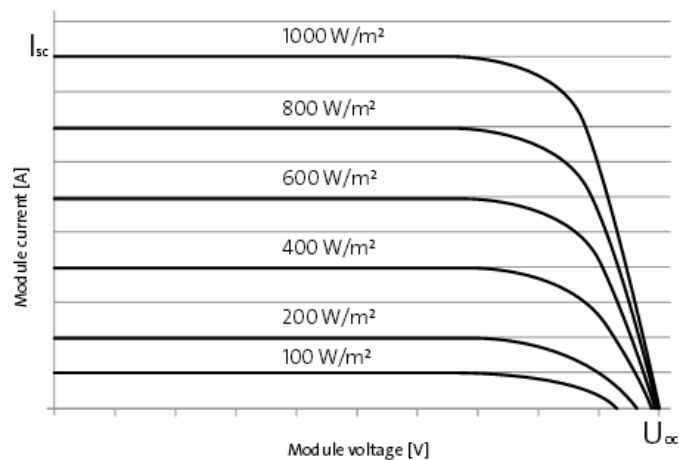
| <b>PARÁMETROS TÉRMICOS CARACTERÍSTICOS</b> |        |
|--|--------|
| Tensión máxima del sistema clase II        | 1000 V |
| Carga máxima de corriente inversa          | 15 A   |
| Cantidad de diodos de bypass               | 2      |

**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

El panel solar fotovoltaico adquirido es de tipo policristalino con una potencia de 140Wp, este equipo trabaja con la radiación solar que existe en el día según su magnitud que varía desde 0 W/m<sup>2</sup> hasta 1000W/m<sup>2</sup>. En el día el sol sale desde las 6:00am hasta las 18:00pm, en ese transcurso puede variar la potencia generada por el panel solar según la magnitud de sol que exista como se observa en la gráfica No. 2.11.

**GRÁFICO No 2. 11** CURVA CARACTERISTICAS DEL PANEL UTILIZADO.



**FUENTE:** <http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Para la elaboración del prototipo se adquirió un panel solar fotovoltaico de 140Wp tipo policristalino y sus dimensiones constructivas se lo puede observar en el **Anexo No: 2.**

#### **2.2.5. Pruebas de Velocidad del Viento.**

Los datos de la velocidad del viento se recopiló del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI), estas mediciones existen desde el año 1985 hasta el año 2011 en el sector de Querochaca (UTA), los 12 meses del año obteniendo los siguientes resultados como se puede observar en el Anexo No: 3,



TABLA No: 2. 11 Datos de la velocidad del viento 1985 Hasta 2008 y TABLA No: 2. 12 Datos de la velocidad del viento 2011.

Tomando como referencia los datos del INAMHI del año más actual (2011), en este sector existe una velocidad máxima de viento de 20m/s.

A la vez se procedió a realizar mediciones de la velocidad del viento en este sector con un anemómetro digital obteniendo velocidades promedios de 13m/s aproximadamente como se observa en el Gráfico No: 2.12.

**GRÁFICO No 2. 12** TOMA DE DATOS DE LA VELOCIDAD DEL VIENTO DURANTE UN LAPSO TIEMPO DE 4 MESES EN (m/s).



**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Se realizó mediciones de la velocidad del viento que existe en el sector a diferentes horas obteniendo los siguientes resultados, llevados en 1 semana por mes, de lunes a domingo de 8h00am a 9h00am y de 18h00pm a 19h00pm en un periodo de tiempo de 4 meses.

**TABLA No: 2. 13** MEDICIONES CON EL ANEMÓMETRO (m/s).

|                 | Valores Promedios en (m/s), durante los primeros 7 días de cada mes. |      |      |      |      |     |      |         |      |      |      |      |      |      |           |      |     |      |      |      |     |           |      |      |      |      |      |      |
|-----------------|--|------|------|------|------|-----|------|---------|------|------|------|------|------|------|-----------|------|-----|------|------|------|-----|-----------|------|------|------|------|------|------|
|                 | Septiembre   |      |      |      |      |     |      | Octubre |      |      |      |      |      |      | Noviembre |      |     |      |      |      |     | Diciembre |      |      |      |      |      |      |
|                 | L  | M    | Mi   | J    | V    | S   | D    | L       | M    | Mi   | J    | V    | S    | D    | L         | M    | Mi  | J    | V    | S    | D   | L         | M    | Mi   | J    | V    | S    | D    |
| 8h00am-9h00am   | 9.5  | 9    | 9.5  | 9    | 9    | 9.5 | 10   | 9.8     | 10.2 | 9    | 8.5  | 9.5  | 10   | 10.3 | 10        | 10.4 | 9.8 | 9.9  | 8.9  | 9    | 9.6 | 9.5       | 9    | 9.8  | 10   | 10   | 10.5 | 10.3 |
| 18h00pm-19h00pm | 11   | 10.8 | 11.2 | 11.4 | 11.7 | 12  | 10.9 | 12      | 11.8 | 12.1 | 11.6 | 11.4 | 11.9 | 12   | 11.4      | 12.1 | 13  | 11.2 | 11.5 | 11.8 | 12  | 11.3      | 10.9 | 11.9 | 11.6 | 11.8 | 12.2 | 12   |

**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Obteniendo como resultado velocidades de viento que va desde 8m/s a 13m/s.

### ***2.2.6. Cálculo de la energía obtenida del viento.***

Para el diseño de esta turbina se realiza los siguientes cálculos, cuya superficie de contacto con el aire tiene forma de rectángulo, para conocer el área de barrido se multiplica la longitud de la base por la altura del rotor de la siguiente forma, y se expresa el resultado en metros cuadrados.

**Altura de la Hélice:** 1.40 m

**Longitud de la base de la hélice:** 0.80 m

$$A = Base * Altura \quad \text{Ec: 1.9}$$

$$A = 0.80 \, m * 1.40 \, m$$

$$A = 1.12 \, m^2$$

A continuación aplicar la formula de la potencia producida por una masa de aire en movimiento.

$$P = \frac{1}{2} \times \delta \times A \times V^3 \quad \text{Ec: 1.8}$$

Si el viento sopla con una velocidad de 10 m/s equivalente a unos 36 Km/h y sustituyendo en la ecuación los valores obtenemos.

$$P = \frac{1}{2} \times 1.25 \times 1.12 \times 1000$$

$$P = 700 \, W$$

Esta sería la potencia teórica, pero este valor no es de todo cierto. Para obtener un valor más real se aplica el límite de Betz que establece que el rendimiento máximo de cualquier aerogenerador no puede superar nunca el 60 %.

Para el modelo de hélice Savonius el rendimiento se encuentra en torno al 30 %. Así que, aplicando el límite de Betz al valor de potencia calculado anteriormente obtenemos.

$$P = 700 \times \frac{30}{100} = 210W$$

Lo cual significa que la potencia máxima producida por el aerogenerador estaría entorno a los 700W. Pero que ocurre cuando varía el valor de la velocidad con la que sopla el viento.

**TABLA No: 2. 14** POTENCIAS TEÓRICAS OBTENIDAS CON EL PROTOTIPO DE AEROGENERADOR HELICOIDAL.

|                            |     |     |      |      |      |       |       |       |       |     |
|----------------------------|-----|-----|------|------|------|-------|-------|-------|-------|-----|
| Velocidad del Viento (m/s) | 1   | 2   | 3    | 4    | 5    | 6     | 7     | 8     | 9     | 10  |
| Potencia Teórica (W)       | 0.7 | 5.6 | 18.9 | 44.8 | 87.5 | 151.2 | 240.1 | 358.4 | 510.3 | 700 |

**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

En conclusión estos valores observados en la tabla No. 2.13, son calculados teóricamente, estimando el comportamiento de un aerogenerador de cuanta potencia estaría generando de acuerdo a la velocidad del viento que hace girar la turbina construido.

#### **2.2.7. Diseño de la turbina.**

La elaboración de la turbina se realizó en base a las mediciones de la velocidad del viento, para eso realiza los cálculos mencionados anteriormente y se lo diseña en Autocad, tratando de darle una forma helicoidal, la altura de la turbina será de 1.40m y el ancho de la base de 0,80 m.

En base a este diseño se encontraron los ángulos que debe tener cada curva, tratando de que gire 180° obteniendo una forma helicoidal.

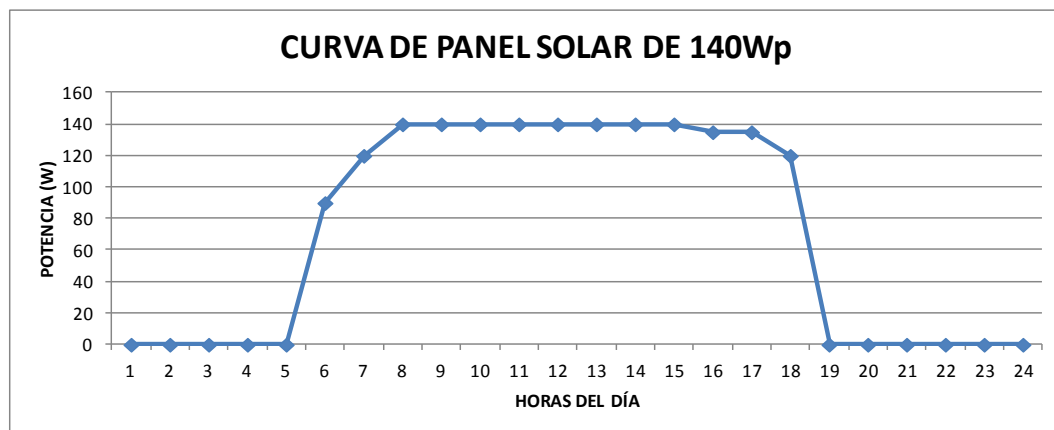
El propósito es conseguir que la turbina diseñada y construida sea lo más liviano, balanceado y resistente a fenómenos naturales en este caso velocidades de viento fuertes y las turbulencias.

El diseño de la turbina elaborado en el programa AUTOCAD se lo puede observar en el Anexo No. 4.

### **2.2.8. Acoplamiento de energía solar y energía eólica.**

Para realizar el acoplamiento entre estos dos sistemas de generación de electricidad primero se debe tener el mismo nivel de voltaje entre estas para hacer una barra común, en este caso obtener 12 voltios debidamente controlados por un regulador, se realiza este acoplamiento para abastecer una vivienda rural, esta casa consume una potencia máxima aproximada de 700Wp en el día, se adquiere un panel solar de 140Wp y un alternador eléctrico de 40A.

**GRÁFICO No 2. 13** CURVA DEL PANEL SOLAR UTILIZADO DE 140Wp.

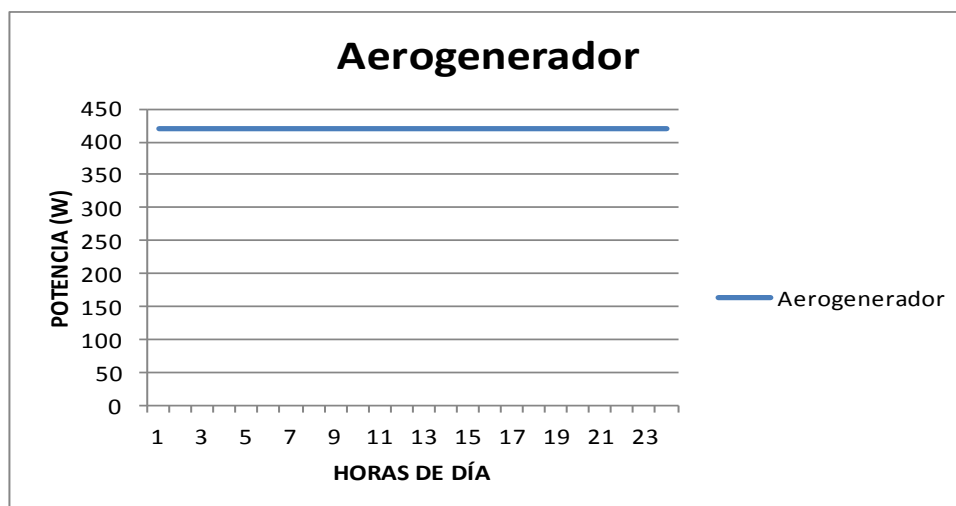


**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

El aerogenerador corresponde un alternador de auto de 12V, 40A, acoplado a la turbina helicoidal, estos se encuentran unidos por medio de una polea con relación 12\*1, la turbina gira con una velocidad aproximada de 100 rpm esto multiplicado con la polea aumentadora se obtiene una velocidad en el alternador de 1200 rpm generando electricidad con normalidad y almacenando en las baterías.

**GRÁFICO No 2. 14** COMPORTAMIENTO PROMEDIO DEL AEROGENERADOR EN EL SECTOR EN ESTUDIO.

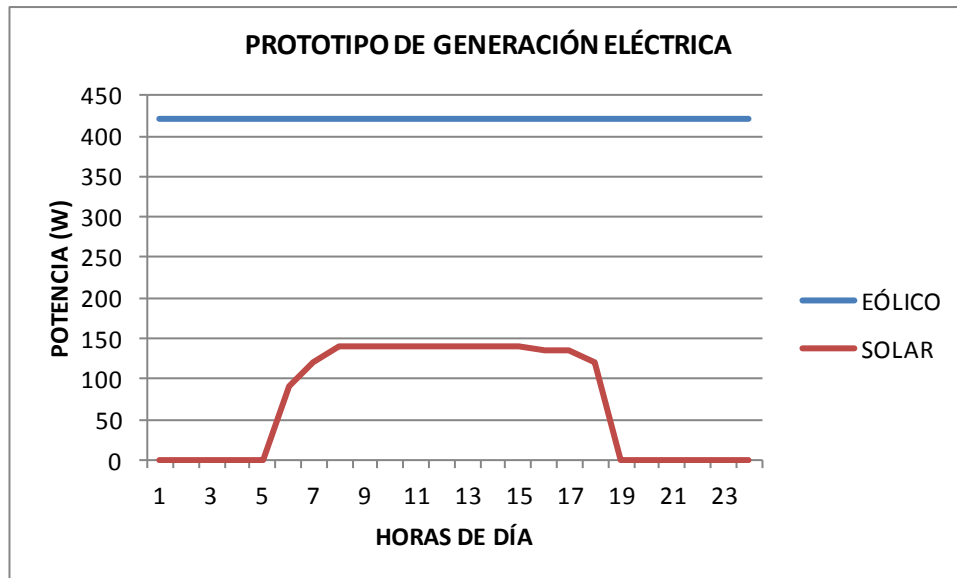


**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

A continuación se observa en el gráfico No. 2.15 el comportamiento de los dos tipos de generación eléctrica (solar - eólica) en el día en forma separada.

**GRÁFICO No 2. 15** CURVAS GENERADOR SOLAR Y EÓLICO.

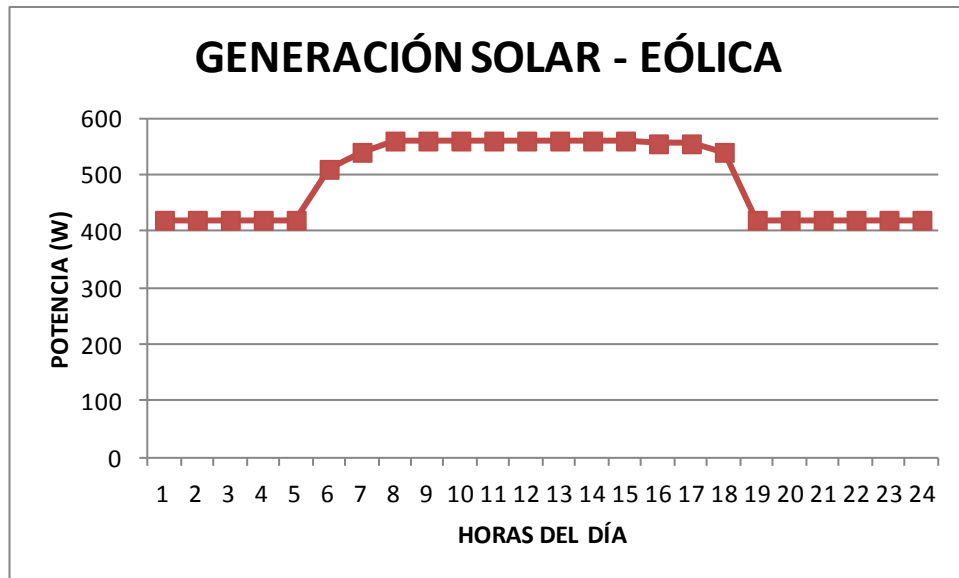


**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Para abastecer la vivienda rural estudiada es necesario acoplar los dos sistemas de generación eléctricas con energías alternativas, la vivienda rural estudiada tiene un consumo máximo aproximado de 700Wp en ciertas horas, las cuales se debe implementar una fuente con esa capacidad eso se realiza mediante el acoplamiento de la energía solar y eólica logrando obtener una potencia máxima de 560Wp como se puede observar el grafico No. 2.16.

**GRÁFICO No 2. 16** GENERACIÓN SOLAR Y EÓLICA.

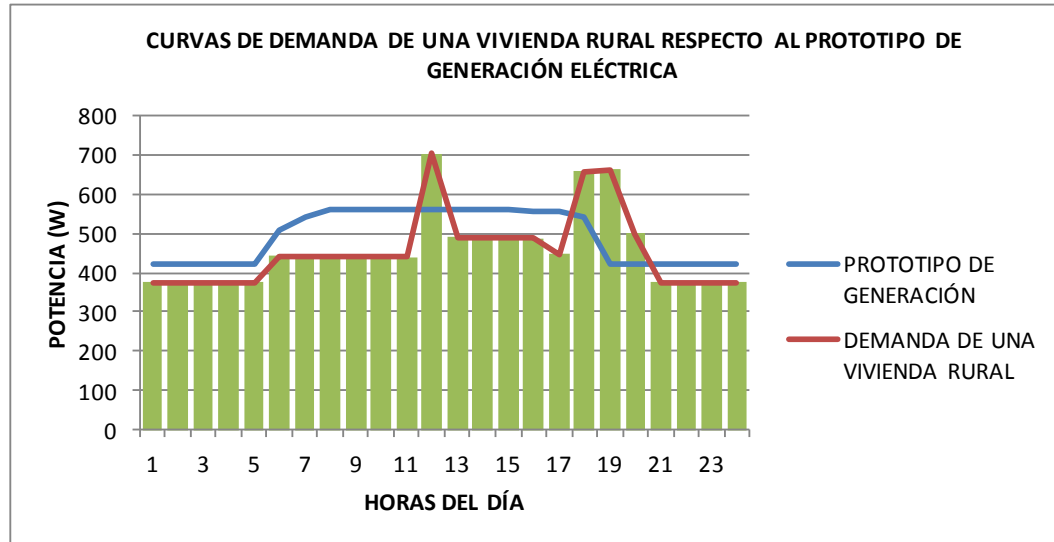


**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

En el gráfico No. 2.17 se puede observar la curva de demanda de una vivienda rural con un consumo máximo aproximadamente de 700Wp, la curva de potencia máxima entregada por el prototipo de generación eléctrica mediante energías alternativas suministra una potencia máxima de 560Wp aproximadamente.

**GRÁFICO No 2. 17** CURVA DE DEMANDA DE UNA VIVIENDA RURAL REPECTO A LA CURVA DE GENERACIÓN ELÉCTRICA DEL PROTOTIPO.



**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Interpretando el gráfico No. 2.17. El prototipo está en la capacidad de abastecer energía las 24 horas de día, la casa tiene un consumo máximo de 700W teniendo una potencia faltante de 140W con referencia a los 560W que entregaría el prototipo de generación eléctrica.

Comúnmente las horas pico más críticas es de 12h00pm a 13h00pm y de 18h00pm a 19h00pm. En este preciso momento tiene que abastecer el banco de baterías con la capacidad de potencia que se le establezca para abastecer la potencia faltante en los lapsos de tiempo antes mencionado.

El banco de baterías utilizado tiene una capacidad de 100Ah que corresponde a:

$$P = I \times V \quad \text{Ec: 1.5}$$

$$P = 100Ah \times 12V$$

$$P = 1200Wh$$



Los 1200Wh abastecen el banco de baterías en el periodo de 1 hora, siendo suficiente para ayudar a cubrir las demandas picos de la vivienda rural con una demanda faltante de 140W aproximadamente.

Como recomendación se debe sobredimensionara el banco de baterías para mayor seguridad, en cierta ocasiones el fenómeno natural que produce la generación alternativa renovables no existe constantemente.

Por medio del sobredimensionamiento existe una mayor confiabilidad y calidad de energía entregada por el prototipo.

### ***2.2.9. Análisis de generación eléctrica mediante energías alternativas entregada por el prototipo.***

Para verificar el funcionamiento del prototipo de generación eléctrica con energías alternativas construido se debe conectarlo con la red interna a una vivienda, además para obtener valores del comportamiento de la casa estudiada se debe conectar un analizador de red, este equipo sirve para llevar mediciones continuas de voltaje, frecuencia, potencia y energía, estas mediciones se los realizó en un lapso de siete días.

En la siguiente tabla No. 2.15, se puede observar los valores de potencia máxima y mínima en un periodo de siete días, también se tiene los valores de voltaje en el momento que se consume la potencia máxima y mínima.

**TABLA No: 2. 15 VALORES DE POTENCIA MÁXIMA Y MÍNIMA EN UN PERIODO DE SIETE DÍAS.**

| DÍAS                        | MÁXIMO       |             | MÍNIMOS      |            |
|-----------------------------|--------------|-------------|--------------|------------|
|                             | POTENCIA (W) | VOLTAJE (V) | POTENCIA (W) | VOLTAJE(V) |
| <b>LUNES 21/04/2014</b>     | 627,27       | 120,5       | 375,08       | 120        |
| <b>MARTES 22/04/2014</b>    | 663,38       | 120         | 375,9        | 119,5      |
| <b>MIÉRCOLES 23/04/2014</b> | 702,91       | 120         | 375,64       | 120        |
| <b>JUEVES 24/04/2014</b>    | 607,64       | 120         | 375,02       | 120        |
| <b>VIERNES 25/04/2014</b>   | 600,21       | 120         | 375,07       | 120        |
| <b>SABADO 26/04/2014</b>    | 675,48       | 119,5       | 375,07       | 119,5      |
| <b>DOMINGO 27/04/2014</b>   | 605,34       | 120         | 375,44       | 120        |

**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES

**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

Según la regulación Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución (Regulación No. CONELEC 004/01), en sectores rurales el voltaje no debe ser mayor al 10% y menor a 10%. En los valores obtenidos por el analizador de red del proyecto se obtuvo valores de voltaje mínimo de 119V y máximo de 120,5V que se encuentran dentro de los parámetros establecidos por la regulación mencionada.

Con la finalidad de conocer el perfil de voltaje del prototipo se instaló un analizador de red, la cual se obtiene los siguientes resultados como se observa en el Anexo No 5; TABLA No: 2. 16 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA RURAL, VALORES DE VOLTAJES.

En cuanto a los valores de frecuencia según la misma regulación debe presentar valores entre 59,5 y 60,5. El prototipo de generación eléctrica suministra electricidad con valores de frecuencias mínimas de 59,97Hz y máximas de 60,04Hz, cumpliendo los estándares establecidos por el CONELEC.

Los valores de frecuencia entregada por el prototipo que se encuentra conectado con una vivienda rural, en un periodo de siete días, las 24 horas. Estas mediciones se las realizó por medio de un analizador de red obteniendo los siguientes resultados como se puede observar en el Anexo No 5; TABLA No: 2. 17 ANALISIS DEL COMPORTAMIENTO DE UNA VIVIENDA RURAL, VALORES DE FRECUENCIAS.

Se comprobó el funcionamiento óptimo del módulo construido, verificando que en las horas pico ingresa el prototipo de generación eléctrica híbrido más el banco de baterías de 100Ah, cubriendo la potencia faltante de 140W aproximadamente, en un periodo de tiempo equivalente a 1 hora.

Los 140W en 1 hora equivalen a 140Wh.

Ec: 1.5

$$P = I \times V$$

$$I = \frac{P}{V}$$

$$I = \frac{140Wh}{12V}$$

$$I = 11,66Ah$$

De los 100Ah que es 100% de la capacidad total del banco de baterías, los 11,66Ah que consume la vivienda como faltante en horas pico del banco de baterías en un tiempo aproximado de 1 hora, equivale al 11,66%, por lo tanto el banco de baterías dispone del 88,34% correspondiente a 88,34Ah, para abastecer unas 10 horas en consumos de demanda pico con una potencia de 140W, si la demanda pico aumenta el tiempo en horas del banco de baterías disminuye.

***2.2.10. Relación entre la curva de demanda de una vivienda rural y la curva según el tipo de vivienda establecida en las guías de diseño de la Empresa Eléctrica Ambato.***

Para la elaboración de esta comparación se verifica que tipo de vivienda está en estudio, su consumo de demanda diaria para reconocer y escoger el tipo de vivienda que corresponde según las guías de diseño de la EEASA.

La tipo de vivienda que se asemeja a los datos recopilados de la casa en estudio es la de tipo D, con un consumo de 800W como observamos en la Tabla. No. 1.4.

El consumo de una vivienda se define según su área en m<sup>2</sup> y su localidad, en este caso una vivienda tipo C y D urbana es igual a una vivienda tipo C y D rural.

Para reconocer el tipo de vivienda que se está estudiando se analiza el área de construcción, luego se compara con las guías de diseño establecido por la EEASA, como se puede observar en el capítulo 1, Tabla No. 1.3 y así concluir que la vivienda rural estudiada es de tipo D.

**Análisis:**

Teóricamente al realizar este análisis, al graficar estas dos curvas se observa un faltante de potencia máxima en horas pico es de 240W en un periodo de tiempo de 30 minutos aproximadamente. La demanda pico comienza a elevarse a partir de las 11h00am subiendo de a poco hasta llegar a los 800W como máximo.

En el momento que existe un consumo de demanda pico, debe ingresar el prototipo de generación eléctrica más el banco de batería para abastecer esa potencia faltante, al pasar las horas la demanda comienza a descender llegando a la estabilidad del sistema de generación entregada por el prototipo hasta las 14h30pm, de ahí vuelve a tener una demanda pico a las 18h00pm hasta las 19h30pm aproximadamente con una potencia máxima de 600W las cuales vuelven a ingresar el prototipo de generación eléctrica más el banco de batería para abastecer esa potencia activa faltante que sería de 180W.

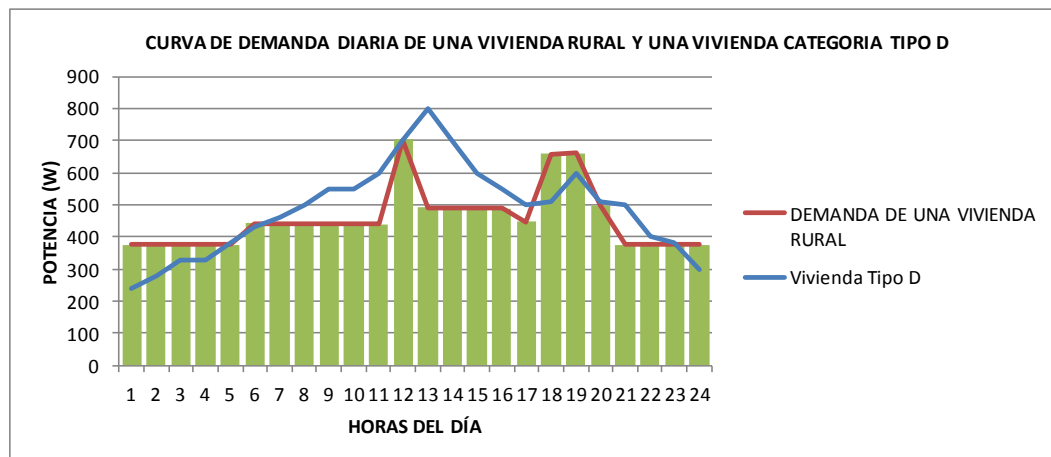
La batería tiene la capacidad de abastecer 100Ah equivalente a 1200Wh, debido a esto su dimensionamiento es el necesario para abastecer la demanda pico de esta vivienda en estudio.

- **Análisis de curvas de la vivienda rural estudiada con una vivienda categorizada tipo D.**

Una vivienda tipo D tiene una demanda máxima de 800W y la vivienda estudiada tiene una demanda máxima de 700W, se les relaciona porque su comportamiento es similar.

En el gráfico No. 2.18 se puede observar la curva de demanda de una vivienda rural y la curva de demanda de una vivienda categorizada como tipo D.

**GRÁFICO No 2. 18** CURVA DE DEMANDA DIARIA DE UNA VIVIENDA RURAL Y UNA VIVIENDA CATEGORÍA TIPO D.



**FUENTE:** LOS INVESTIGADORES.

**REALIZADO POR:** LOS INVESTIGADORES.

#### **Análisis:**

El consumo de una vivienda rural supera una demanda máxima de 700W en el día, y una vivienda categorizada tipo D, con un área de construcción menor a 60m<sup>2</sup> tiene un consumo de demanda máxima de 800W en el día, si al graficar las curvas diarias de la vivienda rural estudiada y la vivienda categorizada tipo D como se puede observar en el gráfico No. 2.18, analizando la gráfica se observa que a las 12h00pm hasta las 13h00pm la demanda de la vivienda tipo D está por encima de la vivienda rural estudiada con una diferencia de potencia de 100W, de ahí mientras va pasando el día va disminuyendo el consumo de potencia hasta las 16h00pm, en este periodo de tiempo se encuentra trabajando el prototipo de generación eléctrico híbrido más el banco de baterías, de 17h00pm hasta las 20h00pm la demanda de la vivienda tipo D está por debajo de la vivienda rural estudiada con una diferencia de potencia de 60W, de 20h00pm hasta las 21h00pm la demanda de la vivienda tipo D vuelve a estar por encima del consumo de la vivienda rural estudiada con una diferencia de 100W, desde las 21h00 hasta las

05h00am el comportamiento de demandas tanto de la vivienda rural estudiada como la vivienda categorizada tipo D tiene un comportamiento similar.

- **Análisis de la vivienda rural estudiada alimentado por el prototipo.**

Analizando el prototipo de generación eléctrica mediante energías alternativas, está en la capacidad de entregar electricidad a una vivienda rural, las 24 horas del día.

En ciertas horas, desde las 12h00pm hasta las 13h00pm necesitaría generar el modulo hibrido más el banco de batería debido a que a esas horas se tiene una demanda pico que va desde 140W descendiendo el consumo hasta la potencia nominal entregada por el prototipo con un máximo de potencia activa entregado de 560W, de 13h00pm hasta las 17h00pm el prototipo está en la capacidad de abastecer la carga sin necesidad del banco de baterías en este lapso de tiempo se cargaría los mismos, luego a las 17h00pm trabaja el módulo de generación eléctrica hibrida más el banco de baterías hasta las 20h00pm aproximadamente llegando a estabilizarse el prototipo.

El banco de baterías tiene una capacidad de 100Ah equivalente a 1200Wh en 1 hora.

En si el consumo eléctrico de la vivienda rural estudiada tiene una demanda pico máxima de 700W, el prototipo de generación eléctrica construido tiene una capacidad de 560W siendo necesario un faltante de hasta 140W, para abastecer ese faltante de demanda se suma la potencia entregada por el banco de baterías con una capacidad de 1200Wh en ciertas horas, en las horas de la mañana y tarde que el consumo no es mayor a 560W compensa el módulo hibrido las cuales el banco de baterías se cargaría a full, en conclusión se verificó y comprobó que es factible el prototipo para este tipo de vivienda categorizada tipo D. (Observar el ítem 2.2.2. Dimensionamiento del Panel Solar, Regulador, Inversor y Batería en la pág. 60).

- **Análisis de una vivienda categorizada tipo D alimentado por el prototipo.**

Analizando el prototipo de generación eléctrica mediante energías alternativas, está en la capacidad de entregar electricidad a una vivienda categorizada tipo D, las 24 horas del día, en ciertas horas, desde las 11h00pm hasta las 15h00pm necesitaría generar el módulo híbrido más el banco de batería debido a que a esas horas se tiene una demanda pico que va desde 240W descendiendo el consumo hasta la potencia nominal entregada por el prototipo con un máximo de potencia activa entregado de 560W, de 15h00pm hasta las 17h00pm el prototipo está en la capacidad de abastecer la carga sin necesidad del banco de baterías luego de las 17h00pm trabaja el módulo de generación eléctrica híbrida más el banco de baterías hasta las 21h00pm llegando a estabilizarse el prototipo. El banco de baterías se pone a cargar desde las 21h00pm hasta las 10h00am de ahí procede el consumo con normalidad.

El banco de baterías tiene una capacidad de 100Ah equivalente a 1200Wh en 1 hora.

En si el consumo eléctrico de una vivienda categorizada tipo D tiene una demanda pico máxima de 800W, el prototipo de generación eléctrica construido tiene una capacidad de 560W siendo necesario un faltante de hasta 240W, para abastecer ese faltante de demanda se suma la potencia entregada por el banco de baterías con una capacidad de 1200Wh en ciertas horas, en las horas de la mañana y tarde que el consumo no es mayor a 560W compensa el módulo híbrido las cuales el banco de baterías se cargaría a full, en conclusión se verificó y comprobó que es factible el prototipo para este tipo de vivienda categorizada tipo D.

- **Análisis de Calidad de Energía entregada por el prototipo.**

Existen normas establecidas por la ley sobre la calidad de energía eléctrica, los valores correctos de voltaje que debe entregar un distribuidor de energía tiene que ser de 120/240; 127/220, en el caso de una vivienda rural no puede sobrepasar valores de sobre voltajes mayores a 10%, ni caídas de voltaje menor al 10%,

analizando la red de la vivienda estudiada como resultados se obtuvo los siguientes valores de voltaje observados en el anexo No. 5, tabla No. 2.16.

Como resultado de las mediciones se obtuvo un voltaje máximo de 120,5V y un voltaje mínimo de 119V, estos valores se encuentran dentro de los márgenes de calidad de energía establecidos por el CONELEC.

En el caso de la frecuencia igual existen valores correctos para obtener una buena calidad de servicio, estos valores deben estar dentro de 59,5 a 60,5, analizando la red de la vivienda estudiada como resultados se obtuvo los siguientes valores de frecuencia como se observa en el anexo No. 5, tabla No. 2.17.

Como resultados se obtuvo valores de frecuencia máximo de 60,04Hz y un valor de frecuencia mínimo de 59,97Hz, estos valores se encuentran dentro de los márgenes de calidad de energía establecido por el CONELEC.

### ***2.3. VERIFICACIÓN DE LA HIPÓTESIS.***

La hipótesis planteada en el proyecto de tesis es: “La demanda eléctrica de una vivienda rural con categoría tipo D ubicada en el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua podrá ser cubierta con la implementación de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas”.

De acuerdo al análisis de las curvas de demandas diarias de una vivienda rural y de una vivienda categorizada como tipo D se puede decir que el prototipo cubre el consumo diario de cualquiera de los dos tipos de casas, además del análisis de la Tabla No. 2.16, 2.17, donde el prototipo de generación eléctrica cumple adecuadamente con los parámetros de calidad de servicio eléctrico establecidos por el CONELEC.

Se verifico que el prototipo de generación eléctrica con energías alternativas es factible para implementar en una vivienda rural ubicada en el sector de Querochaca, cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua.



## **CAPITULO III**

### ***3. Propuesta.***

#### ***3.1. Presentación de la Propuesta.***

Atendiendo a la necesidad de solventar los problemas eléctricos existentes, en consecuencia se opta por el diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural con una potencia máxima de 500W.

La falta de redes de distribución de energía eléctrica en sectores rurales muy alejados de las ciudades, impide el normal desenvolvimiento de los habitantes de dicho sector, esto quiere decir que este tipo de viviendas se encuentran ubicadas en zonas donde es imposible llegar con redes eléctricas debido a su geografía y los costos de inversión que son muy altos para abastecer potencias eléctricas muy bajas, se realizó los estudios del diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, con el propósito de cubrir la demanda de una vivienda rural que comúnmente utilizan solo elementos eléctricos muy básicos como (focos, radio, Tv, entre otras).

Para las respectivas pruebas operativas de este prototipo de generación eléctrica se realizó en la vivienda del señor Vicente Ramos ubicada en el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua, donde existen equipos eléctricos básicos.

Este estudio específicamente se enfocó en el acoplamiento de un aerogenerador y un panel solar, y que sirva transportarlo a cualquier sitio donde no dispongan de servicios eléctricos y cubrir la demanda de una vivienda rural las 24 horas, los 365 días al año de forma confiable. La continuidad y calidad de servicio eléctrico que tenga un cliente es de gran importancia.

En una vivienda rural comúnmente utiliza equipos eléctricos básicos como se puede observar en la tabla No. 3.4.

**TABLA No: 3. 1 POTENCIA MAXIMA DE ELECTRODOMESTICOS.**

| <b>EQUIPO ELÉCTRICO</b>   | <b>POTENCIA MAXIMA (W)</b> |
|---------------------------|----------------------------|
| 5 Focos Ahorradores (25W) | 125                        |
| 1 Radio Pequeña           | 15                         |
| 1 televisión normal 14"   | 55                         |
| 1 Refrigeradora Pequeña   | 300                        |
| <b>TOTAL:</b>             | <b>495</b>                 |

**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

### ***3.1. Objetivos de la Propuesta.***

#### ***3.1.1. Objetivo General.***

Diseñar y construir un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural.

### ***3.2. Análisis de Factibilidad.***

#### ***3.2.1. Factibilidad Económica.***

El proyecto se lo realiza para buscar la solución más factible y económica en la obtención del suministro de energía eléctrica, esto con el diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural con una potencia máxima de 500Wattios.

Se comprobó que en el sector donde se encuentra la vivienda estudiada no dispone de redes eléctricas construidas, la red más cercana se encuentra a 5000 metros aproximadamente, para realizar una construcción de la continuación de la red

hasta el sector donde necesitamos energía eléctrica los costos serían los siguientes como se puede observar en el Anexo No: 6, TABLA No: 3. 2 PROFORMA DE PRECIOS DE CONSTRUCCIÓN DE RED DE MT Y BT.

El costo total de la construcción de una red de media y baja tensión, monofásica con un transformador de 3KVA es de 43660,55 Dólares, los costos de la construcción de esta red eléctrica son realizados por parte de la empresa distribuidora de energía ó por los propietarios que deseen adquirir el servicio, en si se toma en consideración que sería una construcción que no se recuperaría el costo invertido.

La solución a estos altos costos en la construcción de una red eléctrica para cubrir demandas muy pequeñas es realizando el estudio de factibilidad económica de la construcción del prototipo planteado anteriormente, teniendo los siguientes costos como se puede observar en el Anexo No: 7, TABLA No: 3. 3 LISTADO DE MATERIALES DEL PROTIPO DE GENERACIÓN ELECTRICA.

El costo del prototipo de generación eléctrica mediante energías alternativas transportables para una vivienda rural es de 2378 dólares.

El consumo de una vivienda rural con equipos eléctricos muy esenciales mensualmente se puede observar en la siguiente tabla No. 3.4.

**TABLA No: 3. 4 CONSUMO MENSUAL DE UNA VIVIENDA RURAL.**

| <b>CONSUMO MENSUAL DE UNA VIVIENDA RURAL</b> |                |          |              |       |                   |            |                      |
|--|----------------|----------|--------------|-------|-------------------|------------|----------------------|
| ITEMS  | EQUIPO         | CANTIDAD | POTENCIA (W) | HORAS | CONSUMO DIA (kwh) | PRECIO KWh | PRECIO POR DIA (USD) |
| 1  | Refrigeradora  | 1        | 300          | 10    | 3                 | 0,04       | 0,12                 |
| 2  | Radio          | 1        | 15           | 3     | 0,045             | 0,04       | 0,0018               |
| 3  | Televisión 14" | 1        | 55           | 4     | 0,22              | 0,04       | 0,0088               |
| 4  | Foco Ahorrador | 5        | 25           | 8     | 0,2               | 0,04       | 0,008                |

|                     | <b>CONSUMO (kwh)</b> | <b>PRECIO A PAGAR (USD)</b> |
|---------------------|----------------------|-----------------------------|
| <b>TOTAL AL DIA</b> | <b>3,465</b>         | <b>0,1386</b>               |
| <b>TOTAL AL MES</b> | <b>103,95</b>        | <b>4,158</b>                |

**FUENTE:** Los Investigadores.

**REALIZADO POR:** Los Investigadores.

Estos valores calculados anteriormente se los toma con la tarifa de la dignidad, quienes consumen mensualmente menos de 130kwh en la costa y oriente y menos de 110kwh en la sierra paga un valor de 0,04 centavos de dólar el kwh tarifa subsidiada.

Una vivienda rural consume una potencia aproximada de 104kwh mensual por lo tanto entra a pagar un valor subsidiado.

Una vivienda rural consume en el año aproximadamente una potencia eléctrica de:

$$\text{Consumo Anual} = \text{kwh mensual} * 12 \quad \text{Ec: 3.1}$$

$$\text{Consumo Anual} = 103,94\text{kwh} * 12$$

$$\text{Consumo Anual} = 1247,28 \text{ kwh}$$

En el año el propietario de la vivienda cancela el valor de:

$$\text{Consumo (USD)} = \text{preciokwh mensual} * 12 \quad \text{Ec: 3.2}$$

$$\text{Consumo (USD)} = 4,16 \text{ USD} * 12$$

$$\text{Consumo (USD)} = 49,92 \text{ USD}$$

Estos seria los valores que el dueño de la vivienda pagaría por el suministro de energía eléctrica mensualmente y anualmente, pero para la implementación del una red eléctrica lo pagarían los dueños de las viviendas involucradas directamente, los beneficiarios del servicio eléctrico, la construcción de una red eléctrica para este sector tiene un costo de 43660,55 dólares, es un valor muy alto ya que en este sector exista 3 familias, las cuales tendría que aportar para la construcción de la red eléctrica un valor de 14553,52 dólares cada uno, siendo personas de bajos recursos que no lo podrían pagar.

Con la implementación del prototipo de generación eléctrica el propietario de la vivienda rural no cancelaria ningún valor por consumir, ya que aprovecha los recursos naturales no contaminantes (sol, viento), el propietario solo cancelaria el valor de la implementación del prototipo de generación eléctrica que tiene un costo de 2378 dólares, obteniéndose un ahorro en su implementación.

### **3.2.2. Factibilidad Operacional.**

El sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua, se hizo mediciones y pruebas para comprobar si el sector es apto para implementar un sistema de generación eléctrica mediante energías alternativas por medio del sol y el viento.

Los datos recopilados como la velocidad de viento y la radiación solar en el sector mencionado han sido extraídos de las fuentes del INAMHI, CONELEC.

#### **3.2.2.1. Pruebas de Viento.**

En conclusión para diseñar y construir el prototipo de generación eléctrica con energías alternativas, en el caso de generación eólica es necesario conocer la velocidad del viento que tiene el sector donde se lo implemente, estos datos se recopiló del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI).

Los datos adquiridos de esta fuente existen desde el año 1985 hasta el año 2011 en el sector de Querochaca (UTA), los 12 meses del año obteniendo los siguientes resultados como se puede observar en el anexo No. 3, Tablas No: 2.11, 2.12.

Recopilando los datos del INAMHI del año más actual (2011), se tiene una velocidad máxima de viento de 20m/s, además se realiza un recopilación de la velocidad de viento que existe en el sector a diferentes horas se obtiene los siguientes resultados llevados en 1 semana por mes, de lunes a domingo de 8h00am a 9h00am y de 18h00pm a 19h00pm en forma manual con un anemómetro digital como se puede observar en el capítulo 2, gráfico No. 2.10, mediante una muestra de 4 meses (septiembre, octubre, noviembre, diciembre), obteniendo las siguientes mediciones como se puede observar en el capítulo 2, tabla No. 2.13, con un resultado de velocidad de viento promedio de 12m/s.

La turbina diseñada funciona con estos parámetros recopilados, el propósito es que el generador eólico funcione con una velocidad de viento de los 4m/s.

Se comprobó en el capítulo 2 que el sector es factible para la implementación de un sistema de generación eléctrica mediante energía eólica.

### **3.2.2.2. Pruebas de Sol.**

En conclusión para los estudios solares en esta zona se recopiló como referencia el atlas solar del Ecuador con fines de generación eléctrica del Consejo Nacional de Electricidad (CONELEC), el mismo consta de atlas mensuales del año 2008 como se puede observar en el capítulo 2, Tabla No. 2.2: Insolación Global para la zona sierra central del Ecuador.

#### **a. Datos de Heliofanía de la estación Querochaca.**

Es necesario tener conocimiento de las mediciones de Heliofanía para la implementación de un sistema de energía solar, en el siguiente cuadro como se puede observar en el capítulo 2, TABLA No. 2.3, se presenta las mediciones recopiladas desde el año 2004 al 2008, expresado en número de horas de brillo solar al mes en todo un año.

También se presenta datos recopilados desde el año 2004 hasta el 2008, expresado en número de horas de brillo solar en el día en todo un año como se puede observar en el capítulo 2, TABLA No. 2.4 que es la estadística mensual y anual de la estación de Querochaca, expresada en horas/día.

#### **Análisis:**

Para el siguiente análisis estas mediciones de irradiación solar global y heliofanía son recopilados por el INAMHI y por el CONELEC, de los cuales podemos deducir que:

- Irradiación global promedio del año 2008 es igual a  $4225 \text{ Wh/m}^2/\text{día}$ .
- Heliofanía desde el año 2004 hasta 2008, cuyo promedio es de 4,3 (horas/día).

Analizando el concepto de horas pico solar HPS (h), definido como las horas luz solar por días equivalentes, en base a una irradiación  $I \text{ (Kw/m}^2\text{)}$  con constante de  $1 \text{ Kw/m}^2$ , la cual está medida siempre es la potencia de los paneles solares.

Como se obtiene los datos de irradiación solar se divide para la constante calculando las HPS, obteniendo un valor de  $\text{HPS}=4,23 \text{ (h)}$  datos del CONELEC,

que se asemeja a los 4,3 (h) del INAMHI, por lo cual para próximos cálculos se toma de referencia el valor de HPS=4 horas.

### ***3.3. Desarrollo de la Propuesta.***

#### **➤ DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO TRANSPORTABLE DE GENERACIÓN ELÉCTRICA CON ENERGÍAS ALTERNATIVAS.**

Para el desarrollo de esta trabajo de grado se escogió un lugar donde no existan redes eléctricas construidas, este lugar es el sector de Querochaca, del cantón Cevallos de la provincia de Tungurahua donde se encuentra la viviendas del señor Vicente Ramos que no disponen de servicio eléctrico. Se realiza mediciones de velocidad de viento, radiación solar, pruebas de operación del prototipo construido como se puede observar en el capítulo 2, ítem 2.2 Análisis e interpretación de resultados.

El propósito de hacerlo transportable es movilizar todo el sistema de generación eléctrica mediante un remolque, llegando a cualquier lugar donde no exista el suministro de electricidad, al llegar a estos sitios tiene que ser de forma fácil, ensamblaje rápido y segura.

#### ***3.3.1. Elaboración del Prototipo de Generación Eléctrica.***

##### ***3.3.1.1. Construcción del Remolque.***

Para la elaboración de remolque se empezó realizando primeramente el eje con sus respectivas ruedas, luego se elaboró un pequeño chasis donde se montara todo el sistema para poder transportarlo a cualquier lugar, a continuación se detallara paso por paso como se construyo el remolque.

A realizar el remolque se procede con el diseño y la construcción de la turbina helicoidal, se explicara los respectivos pasos que se siguió para la elaboración del remolque, ver Anexo No: 8; GRÁFICO No 3. 1, GRÁFICO No 3. 2, GRÁFICO No 3. 3, GRÁFICO No 3. 4, GRÁFICO No 3. 5.

Se procedió hacer una caja rectangular para poner en su interior todos los componentes que conforma nuestro sistema eléctrico como son:

Dos baterías, 2 inversores (400W, 200W), medidores de voltaje de 12 voltios DC y 120 voltios AC, 1 foco, 1 interruptor, 3 toma corrientes, cableado, etc. Como se muestra en el Anexo No. 9, GRÁFICO No 3. 6.

La elaboración del remolque se lo va haciendo a la vez que se construye la turbina para seguir viendo puntos específicos y dejar a punto todo lo que llevaría el carrito.

El remolque terminado, con sus respectivos componentes se lo puede apreciar en el Anexo No: 9, GRÁFICO No 3. 7.

### ***3.3.1.2. Construcción de la turbina.***

Para la elaboración de la turbina se ha considerado que debe ser un material que no se oxide y sea resistentes a las fuerzas de viento, las cuales se opto en utilizar tol galvanizado de 1.5mm, a continuación se mostrara como se realizo la construcción de la turbina helicoidal paso por paso:

La plancha metálica de tol galvanizado, Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 8.

Se procedió a señalar puntos específicos para cortar el tol galvanizado y dar la forma a lo que será la turbina helicoidal, se corta las partes señaladas, dando una forma específica para proceder a la construcción de la turbina, ver Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 9, GRÁFICO No 3. 10, GRÁFICO No 3. 11.

De ahí se le da la forma circular que tiene cada hélice, dándole la formar al tol galvanizado de un círculo y esto lo hacemos con un tubo redondo, ver Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 12.

Luego de tener la forma cada hélice se les ensambla a las dos fabricadas formando la turbina helicoidal, esta unión se lo hace por medio de una suelda eléctrica de punto como se muestra en el Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 13.



A continuación se realizó la unión de los dos pedazos de tol galvanizado como se puede observar en la gráfica No. 3.12, dándole forma a la turbina helicoidal como se observa en la Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 14, GRÁFICO No 3. 15.

Se colocó unas barrillas en los extremos para mayor estabilidad a la turbina helicoidal.

Se le tornea una barrilla de 5/8” que funciona como eje de la turbina, la barrilla tiene una distancia de 1.80m, se le rebajo cada extremo de la barrilla 1mm para la colocación de los cojinetes del eje que se encuentran soldadas en unas platinas y estas a un tubo cuadrado.

El eje se le hizo una rebajada en un extremo para la colocación de una polea de 12x1, para mejor sujeción de la polea se le coloca una chaveta, como se muestra en el Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 16.

El eje se le suelda fijamente con la turbina construida.

A continuación se le colocó las bases, lo que sostendrá a la turbina, a eso incluimos unas chumaceras (con rodamientos) para que funcione con la fuerza del aire y se produzca el movimiento, como podemos observar en el siguiente Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 17.

La base de la turbina es desarmable para facilidad de alguna reparación si existiera alguna avería, se encuentran sujetos con pernos.

En la parte inferior de la base de la turbina, justo debajo de la chumacera se le sujeta un tubo con una base igual, estas bases se sujetan con cuatro pernos, con este tubo se lo sujetara en el remolque y se tendrá la posibilidad de elevarle más a la turbina, también ahí se le sujetara un alternador eléctrico, todo esto es desarmable por cualquier situación que se pueda suceder, a continuación lo podemos observar en el Anexo No. 10, GRÁFICO No 3. 18.

### ***3.3.1.3. Instalación de la parte eléctrica en el remolque.***

La montadura de la parte eléctrica dentro de la caja rectangular que se encuentra sobre el remolque se encuentra conformada de la siguiente manera.

Dos baterías en paralelo, dos inversores (400W, 200W) conectadas a una barra común de 12 voltios DC, un controlador de carga, 3 toma corrientes, 2 breakers de 20A c/u como protección de cada toma corriente, un foco de 110V con su interruptor, dos medidores de voltaje de 12V-DC y 120V-AC, cableado eléctrico, ver Anexo No. 11, GRÁFICO No 3. 19, GRÁFICO No 3. 20.

En el Anexo No. 11, también podemos observar el plano de diagrama de conexiones eléctricas que contiene nuestro prototipo de generación eléctrica.

#### ***3.3.1.4. Pruebas técnicas operacionales del prototipo transportable de generación eléctrica y acabados estéticos del proyecto.***

Se procede a realizar pruebas de la turbina helicoidal con los componentes que lo conforman en el área de estudio, teniendo ya realizado una toma de datos recopilados del INAMHI Y CONELEC, y también recepción de información en campo durante un periodo de 4 meses (Septiembre, Octubre, Noviembre, Diciembre), durante los 7 días de la semana.

Se comprobó que la turbina helicoidal comienza a generar a partir de los 4 m/s.

A continuación ver Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 21, se muestra las pruebas en campo.

Se comprobó que la turbina trabaja como se lo esperaba, dando como resultado una generación eléctrica positiva, se procede a pintar el remolque y la turbina como se muestra en el Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 22.

Luego de pintar se ensambla los componentes eléctricos y mecánicos se realizó más pruebas técnicas obteniendo como resultado el reforzamiento de partes extremas de la turbina, observar el Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 23.

Al concluir esta reforzada de la turbina se realizó a menudo pruebas técnicas de rutina viendo que no exista ninguna falla en el funcionamiento y resistencia de todo lo que corresponde al prototipo, ver Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 24.

Se comprobó que la turbina trabaja correctamente, ya poniendo a punto todas las fallas, se pinta y se realiza pruebas operacionales pero con el prototipo ensamblado completamente, ver el Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 25.

Ya ensamblado la parte eléctrica, mecánica, se comprueba el funcionamiento optimo, obteniendo un resultado positivo como se puede observar en el Anexo No. 11, GRÁFICO No 3. 26, podemos ver valores de los voltaje DC (12V) y AC (120V).

El diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural se lo ha concluido con éxito, utilizando materiales resistentes y de calidad, siendo muy útil en lugares donde no disponen definitivamente de electricidad, avanzando el conocimiento al uso de tecnologías sobre generación de electricidad mediante energías alternativas no contaminantes.

En el Anexo No. 12, GRÁFICO No 3. 27, se puede observar la culminación del diseño y construcción de un prototipo transportable de generación eléctrica con energías alternativas, para cubrir la demanda de una vivienda rural.

### **3.3.2. Conclusiones y Recomendaciones.**

#### **3.3.2.3. Conclusiones.**

- Los valores de radiación solar promedio que tiene el sector de Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua es de  $4225 \text{ Wh/m}^2$  día y un valor promedio de Heliofanía de 4 horas en el día, teniendo una radiación solar diaria de  $1056 \text{ W/m}^2$  siendo viable la implementación de un sistema de panel solar fotovoltaico con un funcionamiento optimo estandarizado de  $1000 \text{ W/m}^2$ .
- El generador eólico de palas helicoidales diseñado y construido funciona a partir de los 4 m/s aproximadamente siendo viable la implementación de este tipo de aerogenerador en este sector, donde los estudio pertinentes de comportamiento de la velocidad de viento promedio que tiene el sector de

Querochaca, cantón Cevallos, provincia de Tungurahua es de 13m/s en todo un día.

- La demanda pico diaria de la vivienda rural estudiada puede llegar hasta los 700W aproximados y una vivienda categorizada tipo D llega hasta 800W, el prototipo se encuentra en la capacidad de cubrir esta demanda pico con una potencia activa generada de 560W mas un banco de baterías de 100Ah equivalente a 1200Wh, las cuales abastecería de electricidad tranquilamente a la vivienda en las horas de demanda altas.
- El prototipo de generación eléctrica con energías alternativas híbrido entrega valores de voltaje mínimo de 119V y máximo de 120,55V, estando dentro de los parámetros de calidad de energía establecidos por la regulación del CONELEC que no debe existir sobrevoltajes mayor al 10% y caídas de voltaje menores al 10%, verificando estos parámetros establecidos y comparándolos con los valores entregados por el prototipo son los correctos para suministrar a una vivienda de electricidad, las 24 horas del día.
- El prototipo de generación eléctrica con energías alternativas híbrido entrega valores de frecuencia máximo de 60.4Hz y valores de frecuencia mínima de 59.97Hz cumpliendo la regulación de calidad de energía establecida por el CONELEC que dice que debe estar dentro de 59.5Hz a 60.5Hz.
- Este prototipo opera en el día y en la noche, en el día se aprovecharía la energía solar y eólica cargando nuestro banco de baterías y consumiéndolo con una respectiva carga (TV, Radio, etc.), y en la noche se aprovecharía la energía eólica al máximo y la energía almacenada en el banco de baterías, la carga que se utiliza comúnmente en la noche puede ser (TV, Radio, Focos, etc.).

#### **3.3.2.4. Recomendaciones.**

- Al diseñar y construir la turbina se debe tomar en cuenta el material, su resistencia y a la vez hacerlo liviano para que su funcionamiento sea correcto al percibir una fuerza de viento.

- El panel solar debe estar en un sitio libre donde no existan objetos que lo puedan romper ya que es un cristal y delicado.
- El remolque debe tener una suspensión tipo (paquete de hojas, resortes, etc.) para que los elementos que transporte no se maltraten en especial el panel solar.
- Todas las conexiones eléctricas que conforme el sistema de generación eléctrica mediante energías alternativas debe tener su respectivo aislamiento tanto de la carrocería del remolque como del medio exterior.
- Cada sistema de generación eléctrica eólico o solar debe tener su respectivo controlador de voltaje para poder realizar una barra común y sea confiable y equitativo al realizar su consumo con una carga.

### **3.3.3.      *Referencias Bibliográficas.***

#### **3.3.3.3.    *Bibliografía Citada.***

- ANTEZANA NUÑEZ, Juan Cristóbal. “Diseño y Construcción de un Prototipo de Generador Eólico de Eje Vertical”. Director: Rodrigo Palma Behnke Universidad de Chile, Septiembre 2004
- CALBET, Vicente. “Cargador de baterías para aerogeneradores Savonius helicoidal”. Director: Hugo Valderrama Blavi. Universitat Rovira I Virgili, Departamen d’ Enginyeria Electrónica Eléctrica i Automática, Junio 2010
- CASTILLA, León. “Manual de Instalación”. Pag. 28-30. Pdf
- CASTILLO MERAZ Raúl M.c. SISTEMA HÍBRIDO FOTOVOLTAICO-EÓLICO PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA. Universidad Autónoma de San Luís Potosí. Julio de 2013.
- Enríquez Harper Gilberto, Elementos de Centrales Eléctricas I, ed. LIMUSA, S.A., 1982. Pág. 169
- FERNÁNDEZ Pedro Diez, Energía Eólica, 2009. Pag. 41-50
- F R Quintela, R C Redondo, M M Redondo (2008, Pag. 5) “Definición de alternador”
- GONZÁLEZ Antonio, Energía 3 (2009. Pag. 5-9)
- MERINO Luis, Energía renovables para todos. pag. 2-19

- PICHARDO Vicente, Cargador de Baterías para Aerogeneradores Savonius Helicoidal (Junio de 2010. Pág. 17-58, pdf)
- Shyam S. Nandwani (\*) Ph.D.(2008, Pag. 19-20)
- SUBIELA ORTIN, Vicente. “Energías renovables y eficiencia energética”. Primera edición, abril 2008. Pág. 64-70.

#### **3.3.3.4. Bibliografías Virtuales.**

- Aarón Sánchez Juárez  
([http://proyectodeenergiarenovable.com/Descargas/Manuales/Curso\\_Interc oneccion\\_a\\_red/Inversores.pdf](http://proyectodeenergiarenovable.com/Descargas/Manuales/Curso_Interc oneccion_a_red/Inversores.pdf) )”INVERSORES”, Convierten la corriente continua en corriente alterna.
- Anónimo, Disponible en Web:  
<http://www.burodeanalis.com/2011/06/13/una-nueva-tarifa-electrica-regira-desde-julio/>
- Anónimo, (http://www.slideshare.net/maria12deagosto/la-batera-y-los-alternadores-5335255; 2011; 2013, 04, 20; 13:50) “La Batería y los Alternadores”
- Anónimo, Disponible en Web:  
[http://www.solartronic.com/Energia\\_Solar/Sistemas\\_Fotovoltaicos/Curso\\_Breve/4\\_Curvas\\_Caracteristicas/](http://www.solartronic.com/Energia_Solar/Sistemas_Fotovoltaicos/Curso_Breve/4_Curvas_Caracteristicas/)
- BLIGOO. Historia De La Energía, Disponible en Web:  
<http://energia.bligoo.com.co/historia-de-la-energia#.Uko5a1NVWSp>  
[Consulta: 18 de Septiembre de 2013].
- Control Digital para convertidor multinivel alimentado con energía solar. Disponible en Web:  
[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/meie/martinez\\_h\\_d/capitulo2.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/meie/martinez_h_d/capitulo2.pdf); pag. 14
- El directorio del CONSEJO NACIONAL DE ELECTRICIDAD CONELEC considera una REGULACION No. CONELEC – 004/01, de Calidad del Servicio Eléctrico de Distribución. Disponible en Web:  
[www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc](http://www.conelec.gob.ec/normativa/CalidadDeServicio.doc).

- Diagrama General de producción de electricidad, Disponible en Web:  
<http://iesvillalbahervastecnologia.files.wordpress.com/2008/09/la-energia-electrica.pdf>
- Direccion General de Cooperacion y Asistencia Financiera Argentina. Disponible en Web:  
[http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivis/reorganizacion/contenidos\\_didactitos/publicaciones/libro\\_energia\\_solar.pdf](http://www.energia.gov.ar/contenidos/archivis/reorganizacion/contenidos_didactitos/publicaciones/libro_energia_solar.pdf) [Consulta el 19 de septiembre de 2013]
- DERY Bernard, Disponible en Web:  
([http://www.infovisual.info/05/011\\_es.html](http://www.infovisual.info/05/011_es.html); 2011; 2013, 04, 20; 13:20)  
“Energía Solar”
- Dimensionamiento de Energía Solar. Disponible en Web:  
<http://aytuto.blogspot.com/2013/05/calcular-paneles-y-baterias-para.html#.U0Ld-KInrhk>; “Instalación de Energía Solar”
- Duración de Brillo Solar u Horas de Sol. Disponible en Web.  
[http://www.hidromet.com.pa/brillo\\_solar.php](http://www.hidromet.com.pa/brillo_solar.php)
- ELEKTRON, Medidor de radiación solar. Disponible en Web:  
[http://www.tiendaelektron.com/catalog/product\\_info.php?products\\_id=505](http://www.tiendaelektron.com/catalog/product_info.php?products_id=505).
- Energía Hibrida. Disponible en Web.  
[http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com\\_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3](http://www.tecsol24h.net/index.php?option=com_content&view=article&id=90:balance-neto-kits-fotovoltaicos&catid=17:energia-solar&Itemid=3)
- Instalaciones Aisladas. Disponible en Web.  
<http://www.monsolar.com/panel-solar-solarworld-sw-140p-de-140w-12v-policristalino.html>; “Panel Solar”
- Ind. Nuestra Sra. de Butarque (<http://www.regenbat.com/tipos-regenbat-regeneracion-baterias.php>; 2009; 2013,04, 20; 13:25)”Batería”
- PROVIENTO, Disponible en Web:  
([http://www.proviento.com.ec/SHS\\_ES.pdf](http://www.proviento.com.ec/SHS_ES.pdf)),”Controlador de Batería”.

#### **3.3.4.    *Anexos.***



